clásicos radicales

Herbert Butterfield

Los orígenes de la ciencia moderna



«Una visión panorámica que, partiendo de la historia de las mentalidades, descubre cómo surgió la ciencia moderna, por uno de los grandes historiadores del siglo XX.»
José Manuel Sánchez Ron

clásicos radicales

Herbert Butterfield

Los orígenes de la ciencia moderna



«Una visión panorámica que, partiendo de la historia de las mentalidades, descubre cómo surgió la ciencia moderna, por uno de los grandes historiadores del siglo xx.»
José Manuel Sánchez Ron

PRÓLOGO

HERBERT BUTTERFIELD, UN HISTORIADOR AL QUE LA CIENCIA NO LE FUE AJENA

José Manuel Sánchez Ron

Cuando en 1949 apareció *The Origins of Modern Science* de Herbert Butterfield (1900-1979), la Historia de la Ciencia no era la disciplina que es ahora. Eran pocos los verdaderos, profesionales, historiadores de la ciencia, y la disciplina tenía muy poca presencia en universidades. En un artículo publicado en 1956 en la *Encyclopedia Americana*, George Sarton (1884-1956), un belga que se había formado en Química y Matemáticas y que a partir de 1920 encontró en la Universidad de Harvard el hogar académico que buscaba para promover la institucionalización de la Historia de la Ciencia, de la que él llegó a ser su principal impulsor, escribió:

> Como la Historia de la Ciencia es una disciplina nueva, su enseñanza es muy reciente. El Collège de France designó en 1892 el primer cuerpo docente consagrado a este objeto, pero el nombramiento de profesores ineptos hizo fracasar la gran aspiración de sus creadores. Hoy, transcurridos ya sesenta años (y en opinión de quien esto escribe), los administradores de las universidades tienen aún que aprender a valorar: 1) la importancia de estos estudios; 2) la necesidad de confiarlos a personas eruditas y poseedoras de la necesaria formación (científica, histórica, filosófica); 3) el imperativo de dedicar todo el tiempo del educador a esta tarea, difícil y todavía en estado experimental. Con harta frecuencia se ha confiado esta misión como tarea añadida a hombres que, por eminentes que sean en otros campos del saber, no estaban capacitados para enseñar la historia de la ciencia.
>
> La enseñanza de la historia de la ciencia está bastante bien organizada, aunque en formas diferentes, en varias universidades europeas y asiáticas, como las de Londres, París, Frankfurt, Moscú y Angora, y en unas pocas universidades estadounidenses como son Harvard, Wisconsin, Cornell, Yale, Johns Hopkins y Brown. En esas universidades se pueden proseguir los estudios hasta obtener el doctorado. Los historiadores profesionales de la ciencia son, sin embargo, sumamente raros todavía.

Como vemos, Sarton aludía a la Universidad de Cambridge, pero el *alma mater* de científicos legendarios, cumbres de la ciencia, como Isaac Newton

o Charles Darwin, ya había comenzado unos años antes a mostrar interés por la historia de la ciencia: en 1947 había establecido un comité para estudiar cómo introducir de manera regular su enseñanza. Hay que tener en cuenta cuándo ocurría esto: dos años después del final de la Segunda Guerra Mundial, una contienda que había dejado prístinamente clara la importancia de la ciencia, no en vano su punto final lo pusieron dos artefactos creados por científicos, físicos en este caso: las bombas atómicas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki. Y no hay que olvidar tampoco la importancia —mayor, de hecho, que la aplicación a la guerra de la fisión del uranio y el plutonio— que tuvo el desarrollo del radar. Antes se podía admirar a Albert Einstein, con sus maravillosas teorías de la relatividad especial y general, o a los físicos que crearon ese espectacular y absolutamente sorprendente edificio llamado mecánica cuántica, pero con la guerra la ciencia había dado un salto de nivel, completando la fascinación intelectual que podían producir sus conquistas con una relevancia política, militar, social y pronto económica también, jamás alcanzada antes.

El *chairman* de aquel comité fue Herbert Butterfield. Y confirmando la aseveración de Sarton de que «con harta frecuencia» se había confiado la misión de enseñar la historia de la ciencia a profesores eminentes, pero en otros campos del saber, las primeras lecciones —conferencias más bien— que se dieron en el Cambridge inglés sobre esa materia estuvieron a cargo, en 1947, de George N. Clark, *regius professor* de Historia Moderna, a quien siguió poco después Michael M. Postan, *professor* de Historia Económica. Como indica en la «Introducción» de *Los orígenes de la ciencia moderna*, Butterfield, *fellow* desde 1928 de Peterhouse, el *college* al que estuvo adscrito desde su llegada a Cambridge en 1919 (y del que llegó a ser *master* entre 1955 y 1968), continuó en 1948 la senda abierta por sus colegas (el presente libro fue una reelaboración de sus conferencias). Y como estos, ni la ciencia ni su historia eran su especialidad: él era, y continuó siéndolo el resto de su vida, un historiador tradicional, autor por entonces de libros como *The Historical Novel* (1924), *The Peace Tactics of Napoleon* (1929), *The Whig Interpretation of History* (1931), *Napoleon* (1939), *The Statecraft of Machiavelli* (1940), *The Englishman and His History* (1944) y *Lord Acton* (1948). De todos estos, el más celebrado, y también el más

comentado y cuestionado fue, y sigue siéndolo, *La interpretación whig de la historia* (*whig* es el antiguo nombre del Partido Liberal británico). Lo que allí criticaba Butterfield era la tendencia a ver, a entender, el pasado con los ojos del presente. Justo al comienzo de su libro, en el «Prefacio», escribía:

> Lo que aquí se discute es la tendencia de muchos historiadores a escribir del lado de los protestantes y de los *whigs*, a ensalzar revoluciones una vez que han resultado exitosas, a hacer hincapié en ciertos principios de progreso en el pasado y a producir un relato que constituye una ratificación, sino la glorificación, del presente.

Butterfield era, por supuesto, consciente de que sus limitaciones en el dominio de la historia de la ciencia («Como es lógico —reconoce en la "Introducción"—, nadie se imagina al simple "historiador general" pretendiendo enfrentarse al problema de los descubrimientos más recientes de cualquiera de las ciencias naturales»), pero lo que él y su universidad buscaban no era tanto reconstrucciones detalladas de episodios de la historia de la ciencia, producto de estudios pormenorizados en archivos especializados, sino visiones generales que pudieran servir tanto a los estudiantes de Letras como a los de Ciencias, una tarea para la que una persona «de Letras» como él acaso fuese más adecuada que una «de Ciencias». Por otra parte, y como muestra *Los orígenes de la ciencia moderna*, sus conocimientos de historia de la ciencia no eran en absoluto despreciables, al menos para el tema y periodo que eligió, hasta el punto que es por este libro y por *La interpretación whig de la historia* por lo que es más recordado, obras que seguramente ayudaron a que en 1963 fuera nombrado *regius professor* de Historia Moderna de la Universidad de Cambridge, cátedra que ocupó hasta su jubilación en 1968.

En su autobiografía, *Haciendo historia*, el gran hispanista John H. Elliot, que fue estudiante de doctorado de Butterfield, nos dejó una visión de su director que ayuda a comprender cómo es que realizó aportaciones a campos históricos diferentes, y en particular la historia de la ciencia, una disciplina no cultivada por sus colegas, los historiadores generales:

> Consulté a Herbert Butterfield, quien mostró, tanto entonces como después, dotes de intuición que le hacían, al menos en lo que a mí concierne, el supervisor de investigación ideal, por más que negara un conocimiento experto en historia de España. De algún modo, parecía intuir el tipo de

> problemas que probablemente habrían de surgir y me escribía encomiables cartas de ánimo y consejo cuando las cosas parecían ponerse especialmente difíciles. Pionero él mismo en el desarrollo de nuevos campos como la historia de la historiografía y la historia de la ciencia, insistía siempre en la necesidad de ser flexible y en la imposibilidad de crear una obra definitiva. «Todas las historias —me escribió una vez en una fase temprana de mi investigación— son informes provisionales, y la pregunta ha de ser: ¿puedes hacernos avanzar un paso?» En esta ocasión sostenía contra Braudel que no importaba realmente que las conclusiones generales pudieran ser previsibles. Era mucho más significativo investigar un tema con profundidad y reconstruir cómo y por qué los acontecimientos se desarrollaron como lo hicieron. Se trataba de que siguiera mi propia «intuición», una palabra que usaba a menudo.

Que Butterfield no fuese un historiador *de la ciencia* tuvo su ventaja, la de que su mirada abarcaba otros dominios que configuran la vida social, política, económica, religiosa, militar e intelectual. Precisamente por ser un historiador «general», entendía que, además de intentar comprender la historia de la ciencia, era imprescindible entender y explicar los efectos que la ciencia había tenido en la humanidad; también, por supuesto, cómo pudieron haber afectado al desarrollo científico los movimientos sociales. En *Los orígenes de la ciencia moderna* se encuentran comentarios en semejante dirección. Así, después de resaltar, al comienzo del capítulo IX, la importancia de la Revolución científica, que culminó con «la síntesis de la astronomía y la mecánica que realizó el sistema de sir Isaac Newton» y que tuvo entre sus consecuencias la adquisición de «nuevos hábitos mentales, nuevos métodos de investigación», además de «intentos plenamente conscientes de extender el sistema mecanicista en sí, así como los métodos científicos que tan excelentes resultados habían dado en la física, para que alcanzasen también los fenómenos químicos e incluso los biológicos», Butterfield añadía:

> No obstante, todo esto no representa más que una pequeña parcela en el enorme ámbito de la importancia de la Revolución científica, y sería un error no dirigir nuestra mirada hacia los lados, por un momento, con el fin de estudiar las repercusiones de la nueva forma de pensar sobre la vida y la sociedad del siglo XVII. La historia de la ciencia no debería limitarse a existir por sí sola, en un rincón separado, y si hemos aislado algunos de sus aspectos y los hemos sometido a un examen más minucioso, lo hemos hecho únicamente con la finalidad de destacar el hecho de que los cambios intelectuales que se dieron en estos momentos poseyeron un significado especial para la historia general en su más amplio sentido.

Entre esos «cambios intelectuales» que promovió la Revolución científica, y actitudes asociadas a ella como el escepticismo y la duda metódica, Butterfield mencionaba «la tendencia a un protestantismo de nuevo cuño», de carácter más liberal que el original, así como «el derrocamiento general de la autoridad, tanto de la Edad Media como de la Antigüedad». Se produjo entonces «la pasión por extender el método científico a todos los ámbitos del pensamiento», aunque para mostrar todo el potencial que albergaba esa extensión hubo en no pocos casos que esperar a que se desarrollasen las posibilidades de experimentación científica y que estas dieran lugar a «ciertas formas de producción y técnica». Es por esto que cuando se analizan los cambios sociales que se produjeron a partir del siglo XVII hay que tener en cuenta, añadía, que «las revoluciones científica, industrial y agraria forman un sistema tal de cambios tan complejos y dependientes unos de otros, que a menos que hagamos un estudio microscópico, no tenemos más remedio que reunirlos todos como aspectos de un movimiento más general que a finales del siglo XVII estaba ya produciendo cambios en la faz de la Tierra».

Reconocía Butterfield, no obstante, que también era posible que la propia revolución que se produjo en la ciencia formase parte de «toda una serie de factores convergentes [que] estaban moviendo al mundo occidental en una dirección determinada, o bien que estaba soplando un viento huracanado, capaz de llevarse por delante cualquier cosa que estuviera sucediendo; un vendaval tan poderoso, que arrastraba en sus ráfagas a todo movimiento existente con el fin de fomentar la corriente favorable a la secularización». Algo así como un *Zeitgeist* global. Fuese por lo que fuere, el hecho es que a partir del siglo XVII, o mejor del XVIII —cuando realmente se fraguaron las posibilidades que abría la ciencia newtoniana, reforzadas en el último tercio por otra gran revolución, la de la química, que encontró en Lavoisier su principal exponente (y de la que Butterfield también se ocupó en su libro)—, el mundo comenzó a cambiar rápidamente. En palabras de Butterfield:

> El aspecto general del mundo y de las actividades de los hombres habían variado sorprendentemente poco durante dos mil años —su perfil era siempre el mismo—; tan poco que los hombres no tenían conciencia del progreso ni del devenir de la historia, aparte de hechos como

> una ciudad o una nación que adquiría algún predominio gracias al esfuerzo o a la fortuna, mientras otras caían. Su visión de la historia era esencialmente estática, porque el mundo había sido estático todo el tiempo que ellos podían abarcar; no era sino una sucesión de vidas cuyos papeles representaban las nuevas generaciones sobre un escenario que en sus puntos esenciales era siempre el mismo. Sin embargo, ahora el cambio se producía tan rápidamente que se apreciaba a ojos vista, y la faz de la Tierra y las actividades humanas iban a cambiar más en el curso de un siglo de lo que lo habían hecho antes en mil años.

LOS LÍMITES DE LA HISTORIA *ANTIWHIG*

Que las dos obras más importantes de Herbert Butterfield fuesen un libro sobre la ciencia y otro en el que criticaba la interpretación *whig* de la historia deja al descubierto una contradicción interna, puesto que para evitar contemplar el pasado con los ojos del presente, o mejor, juzgar lo que sucedió teniendo en cuenta lo que ahora sabemos, la ciencia no es buen ejemplo, ya que su gran virtud es que continuamente mejora nuestro conocimiento y comprensión de la naturaleza, corrigiendo los errores que se cometieron en el pasado. Es posible, por supuesto, estudiar el pasado sin hacer referencia al presente, pero si esto es siempre difícil lo es más para el historiador de la ciencia… salvo que se centre en episodios concretos, lo más limitados posible. En las grandes reconstrucciones no es posible evitar comparar las ideas y conocimientos del pasado con los que vinieron más tarde. ¿Cómo, por ejemplo, evitar señalar, y consecuentemente *juzgar*, que la cosmología geocéntrica, que encontró su clímax en el *Almagesto* de Ptolomeo, estaba equivocada, que no describe la realidad como se fue consiguiendo a partir de la cosmología heliocéntrica defendida en el *De revolutionibus orbium coelestium* de Copérnico, y que, como se comprobó más adelante, esa visión del universo no servía de hecho más que para un pequeño rincón del cosmos, el sistema solar?

Steven Weinberg, premio Nobel de Física, un científico particularmente interesado en la historia de la ciencia, a la que ha contribuido en ocasiones, ha sido uno de los que han criticado la visión *antiwhig* de la historia cuando se pretende que sea también válida para la historia de la ciencia. Lo hizo en un artículo que publicó en diciembre de 2015 en *The New York Review of Books*, alguno de cuyos pasajes merece la pena citar:

> Las admoniciones de Butterfield fueron seguidas fervientemente por las posteriores generaciones de historiadores. Ser llamado *whig* llegó a ser tan aterrador para los historiadores como ser llamado sexista, o eurocéntrico, o orientalista. La Historia de la Ciencia tampoco se libró de eso. El historiador de la ciencia Bruce Hunt recuerda que cuando era un estudiante graduado a comienzos de la década de 1980, *whiggish* era un término despectivo habitual en el ámbito. Para evitar esta acusación, la gente evitaba contar historias de progreso o dar «grandes visiones» de historias de cualquier tipo, y se dedicaban a estudiar pequeños episodios, perfectamente fijados en el espacio y el tiempo.
>
> Sin embargo, al enseñar cursos sobre la Historia de la Física y la Astronomía, y después desarrollar mis clases para que fuesen un libro, he llegado a pensar que sea lo que sea lo que uno piense del *whiggerismo* en otras clases de Historia, no tiene un lugar adecuado en la Historia de la Ciencia. Claramente, no es posible hablar de cierto o erróneo en la Historia del Arte o de la Moda, ni creo que es posible en la Historia de la Religión, y se puede discutir si es posible en la Historia de la Política, pero en la Historia de la Ciencia realmente podemos decir quién tenía razón.

Y más adelante concluía:

> Parece que el mismo Butterfield concedía una cierta legitimidad al whiggerismo en la Historia de la Ciencia. En sus conferencias de 1948 sobre Historia de la Ciencia en Cambridge, atribuyó una importancia a la Revolución científica que él nunca concedió a la Gloriosa Revolución de Inglaterra, tan querida a los *whigs*. Yo encuentro su descripción de la Revolución científica completamente *whiggish*.

En algunos lugares de *Los orígenes de la ciencia moderna* se comprueba que, efectivamente, Butterfield «concedía una cierta legitimidad al whiggerismo en la Historia de la Ciencia». Así, en el capítulo X, aparecen unos pasajes cargados de whiggerismo:

> [Cuando] miramos hacia atrás para contemplar la Revolución científica, nos encontramos en una posición que nos permite ver las consecuencias que tuvo para la época actual con mucha mayor claridad que los hombres de hace cincuenta y hasta solo veinte años antes. Y, una vez más, no somos nosotros los que sufrimos la ilusión óptica —la de tratar de encajar el pasado en el marco actual—, porque lo que ha sido revelado en la década de 1950 [esto es algo que añadió en ediciones posteriores a la primera, de 1949] no hace sino destacar más la importancia fundamental del cambio que se produjo en el mundo trescientos años atrás, en los tiempos de la Revolución científica. Nos damos perfecta cuenta de por qué nuestros predecesores no alcanzaban a captar el significado del siglo XVII en toda su importancia fundamental, de por qué hablaban mucho más del Renacimiento o de la Ilustración del siglo XVIII, por ejemplo; y es que en este caso, como en muchos otros, ahora estamos en condiciones de discernir las superposiciones sorprendentes y las soluciones de continuidad que con frecuencia ocultan la verdadera dirección en la que se mueven las cosas.

De hecho, no es solo en la historia de la ciencia donde una cierta dosis de whiggerismo es recomendable. Se ha señalado con razón (David Wootton, *La invención de la ciencia*) que las tesis *antiwhig* de Butterfield tienen también limitaciones fuera de la ciencia: solo miradas retrospectivas pueden revelar la importancia de hechos pasados como, por ejemplo, el descubrimiento de América. Llevado al extremo, el antiwhiggerismo fomenta el relativismo, la tesis de que la «verdad», la «racionalidad», son relativas al punto de vista cultural, una idea que forma parte de los principios del posmodernismo.

LOS ORÍGENES DE LA CIENCIA MODERNA Y LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

De *Los orígenes de la ciencia moderna* se puede decir, con toda justicia, que ofrece una visión panorámica que, partiendo de la historia de las mentalidades, descubre cómo surgió la ciencia moderna, por uno de los grandes historiadores del siglo XX. Hoy es un lugar común referirse a la Revolución científica, entendiendo por tal el periodo de los siglos XVI y XVII en que se establecieron las bases de la ciencia moderna, pero fue Butterfield quien más hizo por introducir en la historia de la ciencia la idea de esa revolución, siendo este concepto, el de revolución en la ciencia, posteriormente extendido por Thomas S. Kuhn en su célebre libro de 1962, *The Structure of Scientific Revolutions*. Antes que Butterfield, es cierto, Alexandre Koyré (1892-1964), uno de los grandes nombres de la historia de la ciencia, había hecho hincapié —en *Études galiléennes* (1939)— en la noción de «una Revolución científica del siglo XVII, una profunda transformación intelectual de la que la física moderna, o más exactamente clásica, fue a la vez expresión y fruto». En su opinión, aquella Revolución científica había sido, posiblemente, la mutación más importante en el pensamiento humano desde las contribuciones de los griegos, contribuciones que de hecho significaban en cierta forma una manera de «inventar el cosmos». Pero Koyré no hizo tanto énfasis en la idea de Revolución científica como Butterfield, quien sin duda compartía con aquel puntos de vista. Así, no muy diferentes a las implícitas o explícitas de

Koyré, Butterfield realizaba afirmaciones en *Los orígenes de la ciencia moderna* como las que se leen el capítulo X, en las que también se muestra el historiador «general» consciente de que el mundo era, es, más que la ciencia:

> Algunos han dado a entender a veces que durante el siglo XVII no sucedió nada nuevo, ya que la misma ciencia natural llegó hasta el mundo moderno como una herencia de la antigua Grecia. Nosotros mismos, en el curso de nuestro estudio, hemos tenido más de una vez la impresión de que la Revolución científica no habría ocurrido —ya que ciertas líneas de desarrollo importantes se habían visto interrumpidas durante largos periodos— si no se hubieran vuelto a estudiar el pensamiento de la Antigüedad y se hubiese conseguido recuperar una cierta cantidad de lo que fue la ciencia griega. No obstante, se puede argüir contra todo esto que lo acontecido en el siglo XVII, tal y como lo hemos estudiado, representa uno de los grandes episodios de la experiencia humana y que debería ser incluido —junto con el éxodo de los antiguos judíos o la conquista de los grandes imperios por parte de Alejandro Magno y de la antigua Roma— entre las aventuras épicas que han hecho de la especie humana lo que es hoy. Representa uno de esos periodos en los que entran cosas nuevas en el mundo y en la historia, cosas que surgen de la propia actividad creadora del hombre y de su incesante lucha en pos de la verdad. No parece haber indicio alguno de que el mundo de la Antigüedad, antes de que se dispersara a los cuatro vientos su herencia, se dirigiese hacia nada que se pueda comparar con la Revolución científica, ni de que en el Imperio bizantino, a pesar de la continuidad que supuso en las tradiciones clásicas, se hubiera captado nunca el pensamiento antiguo y hubiese sido vuelto a moldear gracias a un gran poder transformador. Por tanto, tenemos que considerar a la Revolución científica como un producto de la actividad creadora de Occidente, dependiente de un complejo conjunto de condiciones que no se dieron más que en Europa occidental, y quizá dependiente también, en parte, de cierta cualidad dinámica de la vida y de la historia de esta mitad del continente.

Es preciso señalar, no obstante, que la idea de que en los siglos XVI y XVIII se produjo una Revolución científica, esto es que entonces se dio una ruptura radical con el pasado, no ha sido aceptada por todos los historiadores de la ciencia. No han faltado, ni faltan, quienes defienden una sólida continuidad con el pasado. Célebre en este sentido es la frase con la que Steven Shapin comenzó su libro, titulado precisamente *The Scientific Revolution* (1996): «No existe tal cosa como la Revolución científica, y este es un libro sobre ello».

Antes que Koyré y que Butterfield, el físico e historiador Pierre Duhem (1861-1916) defendió una aproximación «gradualista» a la historia de la ciencia. En uno de sus libros, *Études sur Léonard de Vinci: Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu* (1909), manifestaba que fue en el siglo XIII «cuando, a pesar del Filósofo [Aristóteles] y de su comentarista [Simplicius], se

declaró que eran posible el movimiento de la Tierra, la pluralidad de los Mundos, el vacío o el tamaño infinito», y que a partir de ahí se llegó a la ciencia del siglo XVII. Aludiendo a la célebre máxima latina «Natura non facit saltus», Duhem argumentaba que «Al igual que la naturaleza, la ciencia no da saltos bruscos». Se equivocaba, evidentemente: basta con pensar, por ejemplo, en el «salto brusco», en la ruptura con la física *clásica*, que significó la física cuántica.

Butterfield era consciente de lo que la Revolución científica debía al pasado —de hecho, comienza su libro estudiando las contribuciones medievales a la dinámica (la teoría del ímpetu)—, y reconoce las aportaciones de Duhem, cuya obra consideraba «un factor muy importante en el notable cambio que se ha producido en la actitud de los historiadores de la ciencia con respecto a la Edad Media». «El mundo moderno es —escribió en *Los orígenes de la ciencia moderna*— en cierto sentido una continuación del mundo medieval; no puede ser considerado simplemente una reacción contra el primero». Pero reconocer esa deuda, explorarla y ponerla de relieve, no significa que no se hubiera producido una ruptura, un cambio que incluso se puede asimilar al tipo de los que puso de manifiesto la filosofía de la Gestalt. Recordemos que en la «Introducción» manifiesta que se trataba de una revolución «que deja en la sombra todo lo acaecido desde el nacimiento de la cristiandad y reduce el Renacimiento y a la Reforma a la categoría de meros episodios, simples desplazamientos de orden interno en el sistema del cristianismo medieval».

Los orígenes de la ciencia moderna ofrece un vasto fresco de lo que aconteció no solo en la ciencia de los siglos XVI y XVII, en los que brillaron personajes como Copérnico, Vesalio, Descartes, Boyle, Harvey, Kepler, Galileo o Newton, sino también en la centuria siguiente, la de la Ilustración, en la que, como ya apunté, ocurrió otra gran revolución, una largamente deseada, la de la química de Lavoisier. Asimismo, aunque con mucho menos detalle, se asoma al siglo XIX, concluyendo su libro con la mención de la siguiente revolución, la que protagonizó Charles Darwin con su libro de 1859, *The Origin of Species*. Es posible, por supuesto, encontrar defectos en este gran libro de Butterfield. Se ha señalado, por ejemplo, que su reconstrucción se basa en esencia en las transformaciones que se produjeron

en las *ideas*, en los modos de entender los fenómenos naturales, con la matematización a la cabeza, mientras que prácticamente dejaba de lado la experimentación y los instrumentos —como el telescopio o el microscopio — que tan bien sirvieron a la creación de una nueva ciencia. Es verdad, pero no así que Butterfield lo ignorase: «Estamos comenzando —señalaba — a darnos cuenta de que la historia de la tecnología desempeña un papel más importante en la evolución del movimiento científico de lo que creíamos en un primer momento […]. En el siglo XVII hay algo que comienza a cobrar una importancia destacada: la creación de nuevos instrumentos científicos, sobre todo de instrumentos de medición. Es difícil para nosotros darnos cuenta de lo dificultoso que debió ser trabajar en los siglos anteriores sin disponer de estos aparatos.» Pero por encima de los defectos, o mejor limitaciones, la aparición de *Los orígenes de la ciencia moderna* significó mucho para la historia de la ciencia. En una reseña publicada en 1950 en *Isis*, entonces como ahora una de las principales revistas de la disciplina, el eminente historiador de la ciencia I. Bernard Cohen declaraba que «el señor Butterfield ha prestado un servicio muy especial a los historiadores de la ciencia al demostrarles lo que su campo puede llegar a ser. Es significativo que este libro haya sido escrito por un "historiador general", porque la mayoría de los historiadores de la ciencia profesionales están demasiado implicados en llenar los huecos de nuestro conocimiento de la historia de la ciencia como para haber escrito una obra como esta».

No resisto la tentación de hacer un comentario más. A aquellos historiadores que quieren dejar huella, tanto en su disciplina como en la memoria de sus lectores, les es necesario no solo destreza, originalidad y rigor en su oficio, sino también que no les sea extraño el para muchos elusivo arte de la narración, que literatura e historia se hermanen en sus escritos. Butterfield fue ciudadano de ese reducido mundo, como ilustra la siguiente cita de *La interpretación whig de la historia*:

> Si la historia es algo así como la memoria de la humanidad, si representa el espíritu del hombre que medita sobre su pasado, no hemos de imaginar que su labor consista en acentuar los antagonismos o ratificar las viejas luchas de partido, sino la de encontrar las unidades que subyacen a las diferencias y en ver todas las vidas como parte de una misma red. Puede que el

historiador que trata de encaminarse en este sentido tenga que acometer un gran esfuerzo para ser como un dios, pero por lo menos será menos insensato que aquel que posa como el dios vengador. Al estudiar las pugnas de antaño puede al menos tratar de comprender a los dos partidos en liza, y debe querer comprenderlos mejor de lo que ellos mismos lo hicieron; al observarlos enmarañados en la red del tiempo y las circunstancias puede sentir conmiseración por ellos —por aquellos hombres que posiblemente no sintieran compasión el uno por el otro—; y aunque nunca podrá llegar a ser prefecto, es difícil ver por qué habría de conformarse con menos que hacer entrar a estos hombres con sus luchas en un mundo donde todo es comprendido y todos los pecados son perdonados.

En su ya mencionada autobiografía, Elliot escribió:

> El reto al que se enfrenta cualquier historiador ambicioso es aprehender las características de una época de modo que las acciones y comportamientos humanos resulten comprensibles, combinando el análisis y la descripción sin perturbar la fluidez narrativa. Al final, como saben todos los buenos historiadores, siempre quedará un poso de decepción. Ninguna narrativa llega a ser enteramente exhaustiva, ninguna explicación total, y el equilibrio entre la descripción y el análisis es exasperantemente difícil de conseguir. Lo mejor que se puede esperar es una aproximación convincente de periodos, personas y acontecimientos pasados como peritan los testimonios conservados, una reconstrucción, además, que esté presentada de manera tan eficaz como para atraer y mantener el interés del lector.

Herbert Butterfield, del que Elliot tanto aprendió, cumplió con semejante tarea, dejándonos un libro que se puede —y debe— leer con tanto gusto y aprovechamiento como cuando se publicó hace setenta años.



Los orígenes de la ciencia moderna

INTRODUCCIÓN

Si tenemos en cuenta la importancia del papel que han desempeñado las ciencias en la historia de nuestra civilización occidental, no podremos dudar ni por un momento de la trascendencia que, tarde o temprano, ha de adquirir la historia de la ciencia, tanto por sus propios méritos como por constituir el puente que enlaza las letras con las ciencias, cuya necesidad hace tiempo que se hacía sentir.

Las conferencias que siguen, pronunciadas en 1948 ante el Comité de Historia de la Ciencia de Cambridge, surgieron con la esperanza de que conseguirían estimular en el historiador un interés por las ciencias y en el científico algún interés por la historia. En la presente edición revisada se han corregido algunos errores presentes en la anterior, se han modificado algunas apreciaciones y puntos de vista y se han aplicado otros cambios que reflejan los adelantos que nuestro conocimiento de la naturaleza ha hecho en los años transcurridos desde entonces.

Como es lógico, nadie se imagina al simple «historiador general» pretendiendo enfrentarse al problema de los descubrimientos más recientes de cualquiera de las ciencias naturales; afortunadamente, el campo que más interesa a los estudiantes, tanto de letras como de ciencias, de importancia suprema para los fines de la educación en general, es más fácil de abordar y, de hecho, es quizá el que más precisa la intervención del historiador. Se trata de lo que se ha denominado la «Revolución científica», que generalmente asociamos con los siglos XVI y XVII, pero que, sin duda alguna, tiene origen en un periodo mucho más antiguo, desde el que se puede seguir en una línea clara e ininterrumpida. Como esta revolución fue la que echó abajo la autoridad de que gozaban en ciencia no solo la Edad Media, sino también el mundo antiguo —acabó no solo eclipsando la filosofía escolástica, sino también destruyendo la física de Aristóteles—,

cobra una importancia que deja en la sombra todo lo acaecido desde el nacimiento de la cristiandad y reduce al Renacimiento y a la Reforma a la categoría de meros episodios, simples desplazamientos de orden interno en el sistema del cristianismo medieval. Puesto que cambió el carácter de las operaciones mentales habituales en el hombre, incluso en las ciencias no materiales, al mismo tiempo que transformaba todo el diagrama del universo físico y hasta lo más íntimo de la vida misma, cobra semejante extensión como la verdadera fuente del mundo y de la mentalidad modernas que la periodización que solíamos establecer de la historia europea ha pasado a ser un anacronismo y un estorbo. Apenas habrá otro campo en el que sea más importante que contemplemos de cerca y con exactitud las operaciones que accionaron cada una de las transiciones históricas, cada uno de los capítulos del desarrollo intelectual.

Las conferencias que siguen tratan precisamente de aclarar esta fase de la historia europea. Ni siquiera intentamos extender cuatro siglos de historia de las ciencias como si fuese una larga tira de papel, ni de subdividirla cuidadosamente en porciones de superficie igual, de forma que cada conferencia cubra tantas hectáreas de narración histórica como hacen el enciclopedista y el recopilador. Por el contrario, nos será indispensable buscar las líneas de los cambios estructurales y aplicar la más poderosa lupa a las encrucijadas y los giros que parezcan haber alterado el rumbo general, tratando, por ejemplo, de descubrir los nudos intelectuales que fue preciso desenredar en cada momento particular. Dedicaremos la máxima atención a aquellos casos en los que el hombre no solo consiguió resolver un problema, sino que tuvo que cambiar su manera de pensar para hacerlo o, cuando menos, descubrió más tarde que la solución le obligaba a alterar su enfoque de la ciencia.

Quizá sea conveniente hacer constar dos cuestiones sobre el método a fin de evitar malentendidos y duplicidades. Ante todo, el tema no ha sido enfocado de forma estrictamente histórica —está todavía en un grado de organización muy inferior, como la labor del analista y la del cronista—, si por historia entendemos el tratamiento simplemente biográfico o si limitamos la historia de la ciencia a trazar una línea recta de una gran figura a otra. Algunas de las sorpresas, algunos de los notables cambios en la

manera de pensar que han ocurrido en los últimos cincuenta años, han sido el resultado del estudio minucioso de un gran número de científicos que han intervenido en el desarrollo, pero cuyos nombres son relativamente desconocidos. En segundo lugar, toda la estructura de la historia de la ciencia queda sin vida, y su visión de conjunto queda deformada, si tomamos una vez una figura determinada del siglo XV que tuvo una idea que nos parece moderna y luego otra del siglo XVI que en un momento se anticipó a teorías que no habrían de surgir hasta más tarde, como si estuviéramos haciendo un catálogo de las invenciones o de los descubrimientos geográficos. Se ha demostrado que es casi más útil identificar aspectos sobre los errores y las hipótesis equivocadas de los científicos más antiguos, examinar las murallas intelectuales que parecían infranqueables en periodos determinados e incluso seguir las líneas de desarrollo científico que acabaron en callejones sin salida, pero que ejercieron una influencia cierta sobre el progreso de la ciencia en general. De modo semejante, es posible que en estas conferencias intentemos examinar diversas facetas o aspectos de la denominada «Revolución científica»; sin embargo, no podremos determinar el éxito obtenido en un momento concreto si no dirigimos nuestro interés más que a las doctrinas nuevas y no anotamos más que la aparición de aquellos puntos de vista que consideramos correctos con nuestros conocimientos actuales. Es necesario formarse en cada ocasión una idea de los sistemas más antiguos, de los que pertenecen al tipo de ciencia que había de derrumbarse.

Por último, es importante observar que, en un sentido todavía más amplio, tenemos que seguir la historia de la ciencia desde los periodos más antiguos hasta los posteriores —desde las ideas del siglo XVI acerca de la mecánica hasta las de Galileo—, a fin de darnos perfecta cuenta del modo en que un gran pensador desarrollaba su actividad en los márgenes del pensamiento contemporáneo, o creaba nuevas síntesis, o completaba una línea de pensamiento que había sido ya comenzada. No basta con que leamos a Galileo con la mirada del siglo XX, ni que le interpretemos en términos modernos; no seremos capaces de comprender su obra más que si sabemos algo del sistema que estaba atacando, y debemos estar enterados de lo que era aquel sistema y saber algo más sobre lo que decían de él sus

detractores. En todo caso, no basta con describir y exponer los descubrimientos; es necesario investigar más a fondo los procesos históricos y averiguar algo sobre la forma en que se relacionaban unos sucesos con otros, así como poner todo nuestro empeño en comprender a los hombres que pensaban de modo distinto a nosotros. Pocos progresos haremos si opinamos que los únicos éxitos de la ciencia que merecen hoy nuestra atención son los alcanzados en tiempos relativamente recientes. El tema en sí se encuentra en un punto que debería revestir un profundo interés para el estudiante de historia que se preocupe precisamente por las operaciones mentales más necesarias para hacerle avanzar un paso más y que, si se dedica al estudio de la historia de la civilización en general, no puede permitirse pasar por alto un factor tan fundamental de dicha historia. Las conferencias que siguen —si no por sus méritos, cuando menos por sus defectos— podrían ilustrar la necesidad existente de conocer la opinión del historiador (igual que la del científico), pues son reflejo de la lectura de algunas obras de segundo rango y del examen de algunos tratados clásicos.

Peterhouse, Cambridge

1
LA IMPORTANCIA HISTÓRICA DE UNA TEORÍA DEL ÍMPETU

Una de las paradojas de toda la narración de que nos vamos a ocupar es que el adelanto más sensacional hacia la revolución científica en la astronomía ocurrió mucho antes de que se descubriera el telescopio, incluso mucho antes de que el astrónomo danés Tycho Brahe, en la segunda mitad del siglo XVI, demostrara los grandes progresos que se podían alcanzar haciendo observaciones a simple vista, sin la ayuda de instrumentos ópticos. Cuando William Harvey abrió en Inglaterra nuevas sendas a la fisiología con su estudio de la acción del corazón, mencionó una o dos veces el uso de una lupa, pero su revolucionaria labor la llevó a cabo antes de que se dispusiese de microscopio de ninguna clase. Por lo que respecta a la evolución de la ciencia de la mecánica, es notable la manera en que Galileo habla de los fenómenos corrientes de la vida, hace suposiciones sobre lo que sucedería si se lanzase una piedra desde el mástil de un barco en movimiento o se entretiene haciendo rodar bolitas por un plano inclinado del mismo modo que había sido habitual hacerlo durante mucho tiempo antes. Efectivamente, encontraremos que, tanto en la física celeste como en la terrestre —que ocupa el lugar estratégico en todo el desarrollo—, los cambios fueron fruto no de nuevas observaciones, ni de pruebas de carácter nuevo o inusitado, sino de las transposiciones que se estaban desarrollando en las mentes de los propios hombres de ciencia. A este respecto, es pertinente e importante señalar que, de todas las formas de actividad mental, la más difícil de inducir, incluso en las mentes jóvenes, de las que cabe suponer que no han perdido todavía la flexibilidad, es el arte de manejar un conjunto de datos ya conocidos, pero situándolos en un nuevo sistema de relaciones entre sí, en una nueva estructura, todo lo cual significa, virtualmente, ponerse por un momento a pensar según líneas nuevas. Es fácil enseñar a alguien un nuevo

hecho sobre Richelieu, pero un profesor necesita la inspiración del cielo para invalidar la vieja estructura dentro de la que el alumno está habituado a situar al gran cardenal —una estructura que algunas veces es demasiado rígida para el estudiante de estudios superiores y en la cual hará encajar toda nueva información que obtenga más adelante—. Sin embargo, la paradoja suprema de la Revolución científica es el hecho de que las cosas que conseguimos enseñar con facilidad a los niños en la escuela porque nos preocupamos de que vayan por el buen camino —las cosas que nos parecerían la forma correcta de contemplar el universo, la forma obvia de ver el comportamiento de los cuerpos al caer, por ejemplo— fueron un día la piedra en la que tropezaron las grandes inteligencias, las que vencieron a Leonardo da Vinci y en cierto modo hasta a Galileo, cuando sus mentes combatían, en los bordes mismos del pensamiento humano, con esos problemas precisamente. Incluso los grandes genios que consiguieron abrir brecha en las creencias antiguas en un campo de estudio determinado —Gilbert, Bacon y Harvey, por ejemplo— se quedaban estancados en una especie de medievalismo en cuanto se salían de ese campo específico. Fueron precisos sus esfuerzos combinados para conseguir aclarar ciertos aspectos sencillos que hoy parecerían obvios para toda mente sin prejuicios y hasta fáciles para un niño.

Una determinada línea de pensamiento que se estaba desarrollando ya a finales de la Edad Media ha pasado a ocupar el lugar del primer capítulo de la historia de la transición hacia lo que hemos dado en llamar «Revolución científica». Se trata de un campo de ideas en el que el expositor no puede aventurarse sin sentir la mayor emoción al recordar las vicisitudes de los maestros de los albores de los tiempos modernos. Los estudiantes de historia recordarán cómo los humanistas del Renacimiento, entre ellos Erasmo, acostumbraban quejarse del aburrimiento —burlándose de la sofistería y los artificios— de las disertaciones escolásticas que tuvieron que soportar en la universidad. En alguna ocasión mencionaron específicamente las formas de enseñanza que más erróneas les parecían, y como lo que con más frecuencia criticaban eran los debates sobre mecánica de los que tenemos que ocuparnos ahora nosotros, será sin duda prudente hacer que el examen de aquellas enseñanzas sea lo más reducido posible. Es

curioso que aquellas disquisiciones escolásticas tan aborrecidas hayan sido las que han llegado a ocupar un lugar clave en la historia de la evolución de la mente moderna. Quizá la falta de razonamiento matemático, o la incapacidad de idear medios para formular matemáticamente las cosas, fuera en parte la causa de lo que no parecían más que sutilezas verbales y del exceso de tensión a que sometían la elasticidad del lenguaje aquellos hombres que estaban casi a punto de encontrar el camino hacia la mecánica moderna.

De todas las barreras intelectuales que la mente humana ha encontrado por el camino, y que ha superado en los últimos mil quinientos años, la que a mi juicio ha tenido un carácter más extraordinario, y la más formidable de todas por lo que respecta a sus consecuencias, ha sido la relacionada con el problema del movimiento (aquella que Galileo quizá no llegase a sobrepasar, aunque quedase determinada y establecida en su forma definitiva poco después de su tiempo: la que, como aprende en la escuela cualquier niño, llamamos «ley de la inercia»). Le fue difícil a la mente humana librarse en esta cuestión de las enseñanzas aristotélicas, precisamente porque llevaba un engranaje tan complicado de observaciones y explicaciones —es decir, porque formaba parte de un sistema que de por sí ya constituía una proeza colosal del pensamiento—, y así consiguió una posición muy sólida en el pensamiento escolástico medieval. Más tarde, sigue siendo el fondo esencial del relato —sigue ocupando el centro de la escena— hasta los tiempos del propio Galileo; en otras palabras, hasta la primera mitad del siglo XVII. Según la teoría aristotélica, todos los graves terrestres poseían un movimiento natural hacia el centro del universo, el cual, para los pensadores medievales, se encontraba en el centro mismo de la Tierra o en sus proximidades; en cambio, el movimiento en otra dirección cualquiera era violento, porque iba contra la tendencia común de un grave a moverse hacia lo que se consideraba su sitio natural. Estos movimientos dependían de las acciones de alguien que los generase, y la doctrina aristotélica de la inercia era una doctrina de reposo (era el movimiento, no el reposo, lo que exigía una explicación). Dondequiera que existiese movimiento, y por mucho que durase, había que encontrar algo que lo explicase.

La característica esencial de este punto de vista era la aserción o el supuesto de que un grave seguiría en movimiento solo si existía un agente moviente en contacto físico con él, comunicándole constantemente movimiento. En el momento en que el agente dejaba de actuar, el movimiento quedaba interrumpido (el cuerpo caía a tierra o quedaba bruscamente en reposo). Además, y esto parecerá muy herético hoy en día, se decía que si la resistencia del medio que atraviesa el grave permanecía constante, la velocidad del cuerpo sería proporcional a lo que podríamos llamar la fuerza que el agente moviente ejercía de modo continuo sobre él. La fuerza constante ejercida sobre el cuerpo por el agente durante un periodo fijo no producía aceleración de ninguna clase, sino un movimiento uniforme durante el periodo dado. Por otra parte, si se produjera una variación cualquiera en la resistencia opuesta por el medio —por ejemplo, la diferencia entre moverse en el aire o en el agua—, la velocidad variaría en proporción inversa a esta siempre y cuando los demás factores fueran constantes. Y si la resistencia se reducía a cero, la velocidad sería infinita; es decir, si el movimiento ocurría en el vacío, los graves se moverían instantáneamente de un lugar a otro. Lo absurdo de esto fue una de las razones por las que los aristotélicos consideraban imposible el vacío absoluto, y llegaban a sostener que ni siquiera el propio Dios podría producirlo.

Nos sorprende hasta qué grado no solo esta teoría, sino también las opuestas —incluso las que la reemplazaron en el transcurso de la Revolución científica—, se basaban en la observación común y corriente de los datos de que disponía el sentido común. Y como ya han hecho notar otros escritores, no es pertinente que argumentemos que si los aristotélicos hubiesen observado con más atención, habrían transformado su teoría de la inercia en la versión moderna, habrían adoptado la idea de que los cuerpos tienden a seguir en reposo o en movimiento según una línea recta, hasta que interviene algo que los hace detenerse o cambiar de dirección. Librarse de la doctrina aristotélica simplemente observando más de cerca las cosas planteaba dificultades insuperables, en particular si se había comenzado ya a razonar a partir de líneas equivocadas y se encontraba uno ya prisionero, *a priori*, de todo el sistema de interconexiones que existía en las ideas

aristotélicas. En efecto, la ley moderna de la inercia no es algo que se pueda descubrir por medio de métodos de observación fotográficos; requiere cambiar completamente las líneas ideológicas, una transposición en la propia mente del hombre de ciencia. Y es que, de hecho, no nos es posible observar objetos siguiendo su trayectoria rectilínea en esa clase de espacio vacío del que Aristóteles decía que no podía existir, ni siguiendo su camino hasta ese infinito del que también afirmaba que no era posible que existiera; y en la vida real no disponemos de cuerpos perfectamente esféricos que se muevan en planos perfectamente lisos y horizontales: el ardid consistió en que a Galileo se le ocurrió imaginárselos. Es más, incluso cuando el hombre estaba ya muy cerca de lo que podríamos llamar la verdad respecto al movimiento, no consiguió discernir hasta sus últimas consecuencias —no logró obtener una imagen clara y límpida del asunto— hasta que pudo percatarse y tener plena conciencia del hecho de que en realidad lo que estaba haciendo era transportar la cuestión a un campo nuevo. No estaba ya discutiendo de cuerpos reales tal y como los vemos en el mundo perceptible, sino de cuerpos geométricos que se movían en un mundo en el que no había ni resistencias ni gravedad, que se movían en el vacío infinito del espacio euclidiano que Aristóteles consideraba imposible. Por tanto, a la larga tenemos que reconocer que se trataba de un problema de carácter fundamental, y que no se pudo resolver por medio de la observación minuciosa dentro del sistema antiguo de ideas; requirió una transposición mental.

Como sucedía con frecuencia en aquellos días con teorías semejantes, y aún sucede hoy, podría parecer que la doctrina aristotélica del movimiento concordaba, de modo evidente en sí mismo, con la mayoría de los datos que el sentido común podía utilizar, pero quedaban pequeños núcleos de hechos que en las primeras fases de la discusión no encajaban en la teoría; no era posible hacerlos concordar con las leyes aristotélicas al nivel de lo que podríamos llamar el «sentido común corriente». Se daban una o dos anomalías que requerían un análisis más profundo antes de poder encajarlas en el sistema sin producir contradicciones; y quizá, como han dicho algunos autores, la teoría aristotélica llegó a su cima más brillante por la forma en que consiguió incluir estos casos excepcionales en la síntesis y establecer

(en un segundo intento) su conformidad con las reglas establecidas. Por lo que sabemos hasta ahora de sus argumentos, una flecha debería haber caído al suelo en el momento en que la cuerda del arco dejase de estar en contacto con ella, porque ni la cuerda ni ninguna otra cosa podía provocar un movimiento que pudiese seguir persistiendo en el momento en que hubiese cesado el contacto con el agente motor. Los aristotélicos explicaban el movimiento incesante de los proyectiles por la conmoción que el movimiento original había producido en el aire, sobre todo puesto que el aire, que era empujado y comprimido en la parte delantera, tenía que desplazarse hacia la posterior, a fin de rellenar el vacío, que no podía ocurrir nunca. En este punto de la argumentación llegó a producirse un serio error de observación, que persiguió a los autores de ciencia física durante muchos siglos. Se creía que el desplazamiento del aire provocaba, efectivamente, una aceleración inicial de la flecha después de que hubiera dejado la cuerda del arco, y es curioso observar que Leonardo da Vinci y otros autores posteriores cometieron el mismo error —los artilleros del Renacimiento también fueron sus víctimas—, aunque hubo hombres a finales de la Edad Media que tuvieron el cuidado de no pronunciarse a este respecto. El movimiento de un proyectil, al ser causado por un trastorno en el medio mismo, era algo imposible de imaginar que sucediera en el vacío.

Además, como los comentaristas aristotélicos sostenían algo similar a la opinión de que una fuerza uniforme y constante no producía nada más que un movimiento también uniforme, había una segunda anomalía importante que explicar: era necesario presentar razones especiales que explicasen el hecho de que los cuerpos, al caer, se moviesen con un movimiento acelerado, como demostraba la observación. Una vez más, los partidarios de las enseñanzas antiguas emplearon el argumento del desplazamiento del aire, o pensaron que, al aproximarse el grave a la tierra, el mayor peso de la atmósfera que quedaba en la parte posterior producía un aumento de la presión en sentido descendente, mientras que la columna de aire de la parte inferior, cada vez más corta, ofrecía una resistencia que iba disminuyendo gradualmente. También empleaban el argumento de Aristóteles de que el grave, al caer, se movía de manera más alegre conforme se iba sintiendo más próximo a su lugar habitual.

Entre los siglos XIV y XVII siguió apareciendo una y otra vez en las controversias esta doctrina aristotélica del movimiento, y hasta los últimos momentos de este periodo no surgió la explicación satisfactoria, debida en parte a la política de asir el otro extremo del bastón. Una vez que este problema quedó resuelto en la manera hoy aceptada, nos hizo cambiar profundamente nuestra forma habitual de concebir el universo y abrió el camino a toda una catarata de nuevos descubrimientos e interpretaciones, incluso en el ámbito del sentido común, antes de que se hubieran iniciado experimentos de mayor complejidad. Fue como si la ciencia o el pensamiento humano hubieran estado contenidos por una sólida barrera hasta aquel momento; como si las aguas hubieran quedado estancadas a causa de un defecto inicial en la actitud de cada uno hacia todo lo que en el universo se encuentre en un estado cualquiera de movimiento, y ahora se diese paso libre al aluvión. Los cambios y los descubrimientos tenían que surgir a borbotones, incluso si no hubiesen existido otros factores que preparaban activamente la Revolución científica. Hasta se podría decir que el cambio de actitud con respecto al movimiento de los móviles tenía forzosamente que producir tal cantidad de nuevos análisis de las diversas clases de movimiento que, ya en sí mismo, constituían una Revolución científica.

Aparte de todo esto había otro aspecto particular del problema que le daba una trascendencia singular. No siempre hemos llegado a darnos completa cuenta del carácter peculiar del universo aristotélico en el cual todo cuanto se mueve tiene que ir acompañado constantemente de un agente motor. El universo construido sobre la mecánica de Aristóteles dejaba una puerta medio abierta a los espíritus; era un universo en el que manos invisibles tenían que estar operando en todo momento, y en el que inteligencias sublimes tenían que hacer girar a las esferas planetarias. A su vez, los cuerpos tenían que poseer almas y aspiraciones con una «disposición» hacia ciertas clases de movimiento, de modo que hasta la misma materia parecía poseer cualidades místicas. La moderna ley de la inercia, la teoría moderna del movimiento, constituye el factor crucial que, en el siglo XVII, ayudó a expulsar del mundo a los espíritus y abrió el camino hacia un universo que funcionaba como un mecanismo de relojería.

No solo era así: hasta los mismos hombres que en la Edad Media fueron los primeros en desencadenar el gran asalto contra la teoría aristotélica eran plenamente conscientes de que aquel problema colosal estaba involucrado en la cuestión. A mediados del siglo XIV una de aquellas primeras grandes figuras, Jean Buridan, hizo la observación de que la nueva interpretación eliminaría la necesidad de las inteligencias que movían a las esferas celestiales. Incluso hizo ver que la Biblia no justificaba aquellos agentes espirituales, sino que los exigían las enseñanzas de los antiguos griegos, y no la religión cristiana propiamente dicha. No mucho más tarde, Nicolás de Oresme incluso llegó más lejos al afirmar que, según la nueva teoría, Dios podría haber puesto en funcionamiento el universo como una especie de mecanismo de relojería y haberlo abandonado después para que funcionara por sí mismo.

A esto se debe que en los primeros años del siglo XX, o incluso antes, surgiese un gran interés, que fue aumentando, por esa escuela de pensadores que, en tiempos tan remotos como el siglo XIV, osaron poner en duda las explicaciones aristotélicas del movimiento y trataron de implantar una nueva doctrina que las sustituyese, la del ímpetu, la cual —aunque era todavía imperfecta— representará el primer paso dado en la historia de la Revolución científica. Y si creemos que un argumento de este tipo cae en una de las trampas contra las que siempre tenemos que estar prevenidos —la de tomar de la Edad Media lo que no son nada más que anticipos y analogías casuales respecto a las ideas modernas—, encontraremos una respuesta clara a nuestros temores si pensamos un momento en las reglas que deben seguir los historiadores en una cuestión como esta. Nos encontramos ante el caso de un núcleo de enseñanzas consistente que surge en Oxford, se desarrolla hasta quedar bien establecido por una escuela de pensadores de París y es seguido allí como norma de enseñanza hasta los comienzos del siglo XVI. Tiene una historia sin solución de continuidad: sabemos que llegó hasta Italia, se promulgó en las universidades del Renacimiento y la asimiló Leonardo da Vinci, de modo que algunas de las cosas que un día fueron consideradas rasgos geniales de aquel gran artista y científico, rasgos de sorprendente modernismo que aparecen entre sus anotaciones, no eran en realidad nada más que transcripciones de los

autores escolásticos parisinos del siglo XIV. Sabemos que estas enseñanzas fueron desarrolladas más tarde en la Italia del siglo XVI, entendidas mal en alguna ocasión —a veces solo a medias— y que algunos de los primeros escritos de Galileo sobre el movimiento son reminiscencias de esta escuela, pues están relacionados con la doctrina del ímpetu, que vamos a estudiar seguidamente. Sabemos también con bastante certeza en qué ediciones leyó Galileo las obras de ciertos escritores que pertenecieron a aquella escuela parisina del siglo XIV. Ciertamente, el propio Galileo habría podido elaborar mucho, aunque no todo, de lo que encontramos en su obra de juventud sobre este tema particular si hubiese vivido en el siglo XVI; y a propósito de esto, uno puede muy bien preguntarse qué había estado haciendo entretanto el mundo con su Renacimiento y demás. Alguien ha dicho que si la imprenta hubiera sido inventada dos siglos antes, la doctrina del ímpetu habría dado lugar a un desarrollo mucho más rápido de la historia de la ciencia y no habría necesitado tanto tiempo para pasar desde la etapa de Jean Buridan a la de Galileo.

Sin embargo, hay que hacer notar que si la doctrina ortodoxa de la Edad Media se hubiese basado en Aristóteles, tanto entonces como durante el Renacimiento (y hasta más tarde), los ataques dirigidos a él —incluida la teoría del ímpetu— se habrían basado en algún pensador de la Antigüedad. Aquí tocamos uno de los factores generativos, no solo en la formación del mundo moderno, sino también en el desarrollo de la Revolución científica; a saber, el descubrimiento del hecho de que ni siquiera Aristóteles había reinado sin detractores en su tiempo. Todo esto produjo fricciones muy saludables cuya consecuencia fue sacar a la luz problemas importantes ante los que la Edad Media se vio obligada a tomar una posición propia, de modo que sus hombres se vieron en la necesidad de comenzar a observar por sí mismos el funcionamiento de la naturaleza, aunque solo fuera para poder decidirse entre Aristóteles y alguna doctrina que le contradijera. Todo parece indicar también que algún factor religioso influyó en el nacimiento de las ideas que dieron lugar a la teoría del ímpetu y que, de un modo curioso que en vano nos esforzamos en eliminar por simple análisis, un tabú religioso obró por una vez a favor de la libertad de las opiniones científicas. En el año 1277, un concilio celebrado en París condenó un gran número de

tesis aristotélicas, tales como la idea de que ni siquiera Dios hubiera podido crear el vacío, ni un universo infinito, ni una pluralidad de mundos; y aquella decisión —en la que influyeron ciertas formas de partidismo— fue al parecer llevada a Inglaterra por el arzobispo de Canterbury. Las regiones que quedaron dentro de la órbita de aquellas decisiones debían de haber sido ya antes la cuna de cierta predisposición contra Aristóteles, y no cabe duda de que, desde aquel momento, tanto Oxford como París mostraron los efectos de aquella animadversión en el campo de lo que deberíamos llamar «ciencias físicas». También a partir de este momento da un notable paso adelante, en París, la discusión de la posibilidad de la existencia de un espacio vacío, de un universo infinito o de la pluralidad de los mundos. Y entre los nombres que aparecen en este nuevo desarrollo se encuentran algunos que figuran también en el de la doctrina del ímpetu. Por otra parte, se ha hecho notar que en las enseñanzas parisinas comenzaba ya a perfilarse una tendencia hacia algo que se asemeja a la física matemática, aunque las matemáticas de aquel tiempo no estaban suficientemente desarrolladas para permitir que se llegase muy lejos ni para producir nada parecido a la brillante manera en que Galileo abordó matemáticamente los problemas científicos. No obstante, debemos evitar la tentación de dar una importancia indebida a las aparentes analogías con los tiempos modernos y a las «anticipaciones» que con tanta facilidad se descubren en el pasado; cosas ambas que, sin duda, se deben en parte a los espejismos que sufre el historiador. Y aunque algunas veces puedan ser útiles para aclarar un punto determinado, tenemos que evitar caer en la fascinación de «lo que hubiera podido ser».

Así pues, las figuras que más nos interesan son ciertos autores del siglo XIV, sobre todo un grupo del Merton College, de Oxford, y después Jean Buridan, Alberto de Sajonia y Nicolás de Oresme. Son importantes por otros motivos, además de sus enseñanzas sobre el ímpetu. Los contemporáneos de Erasmo se reían de los maestros escolásticos porque estos debatían no solo sobre el «movimiento uniforme» y el «movimiento disforme», sino también sobre el «movimiento uniforme disforme», todo ello llevado hasta un altísimo grado de sutileza; no obstante, en el siglo XVI, cuando el mundo buscaba una fórmula que describiese la aceleración

uniforme de los graves al caer, se echó de ver que la solución del problema había estado al alcance de la mano desde hacía mucho tiempo en la fórmula medieval del caso del movimiento uniformemente disforme. Toda la evolución que estamos estudiando se dio entre hombres que, de hecho, lo que estaban haciendo era estudiar preguntas y respuestas que habían sido propuestas por Aristóteles. Chocaron con la teoría aristotélica del movimiento precisamente en los dos puntos en los que hubiéramos esperado que iniciaran su ataque: en los relacionados con el movimiento de los proyectiles y la aceleración de los graves, los dos puntos que más dudas plantean. Si estudiamos un momento la clase de argumentación que empleaban, veremos el tipo de procedimientos críticos que se siguieron, incluso en la Edad Media, produciendo cambios al margen de las enseñanzas aristotélicas habituales. También contemplamos de este modo los inicios del gran debate sobre ciertas cuestiones fundamentales para la propia Revolución científica. Efectivamente, los argumentos que se emplearon en aquellos primeros momentos volvieron a aparecer con frecuencia —y siempre en relación con las mismas cuestiones— incluso en las obras más importantes de Galileo, porque con el paso del tiempo su uso llegó a generalizarse. Y si nos parecen simples argumentos basados en los fenómenos corrientes asequibles al sentido común, deberíamos recordar que muchos de los argumentos nuevos que empleó el propio Galileo en momentos posteriores eran, en el fondo, de la misma índole.

De acuerdo con las opiniones desarrolladas por aquellos pensadores, al proyectil lo impulsaba un ímpetu real adquirido, uno que los cuerpos eran capaces de adquirir por el mero hecho de estar en movimiento. Y se suponía que era algo que se encontraba dentro del cuerpo mismo: a veces era descrito como una impetuosidad que se le había comunicado; en otras ocasiones vemos que se habla de ello como si se tratase de un movimiento adquirido por el cuerpo por el hecho de encontrarse en movimiento. Sea como fuere, este punto de vista le permitió al hombre el estudio del movimiento continuo de un cuerpo aunque hubiera terminado el contacto físico con el agente motor original. Se explicaba diciendo que el ímpetu se encontraba en el cuerpo mismo y permanecía en él, al igual que el calor sigue en un atizador que se haya puesto al rojo aunque se saque del fuego;

en el caso de los graves, el efecto era descrito como gravedad accidental, una gravedad adicional que el cuerpo adquiría como consecuencia de encontrarse en movimiento, de forma que la aceleración de los graves obedecía a que se le iba añadiendo ímpetu continuamente durante la caída constante debida a su peso. Por tanto, si se ejercía una fuerza constante sobre un cuerpo, no se producía un movimiento uniforme, sino una aceleración uniforme. No obstante, tenemos que darnos cuenta de que Leonardo da Vinci, al igual que otros muchos de los que aceptaron la teoría general del ímpetu, no fue capaz de seguir a la escuela parisina en la aplicación de sus enseñanzas al caso de la aceleración de los graves. Mientras que los aristotélicos creían que estos se movían a mayor velocidad al aproximarse a su hábitat natural, las nuevas enseñanzas invertían los términos diciendo que lo fundamental, lo que contaba, era la distancia hasta el punto de partida. Si dos graves caían según la misma línea BC, el que hubiera partido del punto más elevado A se movería a mayor velocidad de B a C que el que había partido de B, aunque en aquel tramo particular de su trayectoria se encontrasen a la misma distancia del centro de la Tierra. De la nueva doctrina se deducía que si se practicaba un orificio cilíndrico a través de la Tierra, de forma que pasase por el centro, un grave, al pasar por este último, seguiría su camino arrastrado por su ímpetu durante algún tiempo y oscilaría alrededor del centro hasta detenerse; esto era enteramente inconcebible, según los términos de las teorías antiguas. Había otro punto acerca del cual los aristotélicos no habían logrado convencer, ya que si el vuelo continuo de un proyectil no se debía a la fuerza que lo lanzaba, sino al desplazamiento del aire, no era fácil concebir por qué el aire arrastraría mucho más lejos una piedra que una bola de plumas, por qué podíamos tirar una piedra mucho más lejos. La escuela nueva demostró que, partiendo a una velocidad determinada, la piedra adquiría mayor ímpetu que las plumas debido a la mayor densidad de su materia; aunque, como es natural, un cuerpo de mayor tamaño, pero del mismo material, no iría más lejos, y no debería ser más fácil lanzar una piedra grande que una pequeña. Como medida del ímpetu que correspondía a una velocidad determinada se empleó la masa.

Como Aristóteles había creído necesario algunas veces considerar el aire como un agente resistente, daba pie a la acusación de que entonces no era lícito emplear el argumento de que el aire era también el impelente. La nueva escuela sostenía que el aire no podía ser el impelente excepto en el caso de un viento fuerte, y también plantearon la objeción de que si la perturbación original del aire —el desplazamiento que se producía cuando la cuerda lanzaba la flecha— era capaz de repetirse a sí misma empujando más y más la flecha, no había motivo alguno por el que debiera cesar jamás; debería seguir repitiéndose hasta el infinito, comunicando nuevas perturbaciones a zonas colindantes de la atmósfera. Además, si atásemos un hilo a la flecha, debería volar delante de ella en lugar de ser arrastrado. Pero lo indudable era que, según las teorías de Aristóteles, una flecha no podría volar contra el viento. No obstante, hasta los apóstoles de la nueva teoría del ímpetu consideraban que el proyectil volaba en línea recta hasta que se hubiese agotado su ímpetu, y entonces su trayectoria se curvaba bruscamente hacia abajo para caer verticalmente a tierra. Consideraban que el ímpetu era algo que poco a poco se iba debilitando hasta desgastarse, al igual que un atizador se va quedando frío cuando es sacado del fuego. O, como decía Galileo, era como la reverberación de una campana mucho tiempo después de haber sido golpeada, que se va debilitando gradualmente. Solo que, en el caso de los cuerpos celestes y de las esferas que llevaban a los planetas por el espacio, el impulso no se agotaba nunca; la velocidad de aquellos cuerpos no disminuía nunca, puesto que no había la resistencia del aire que los frenase. Por tanto, cabría argüir que Dios podría haberles dado a estas cosas su ímpetu original, y podríamos imaginar que su movimiento perduraría siempre.

La teoría del ímpetu no resolvió todos los problemas y demostró no ser más que un hito a mitad de camino hacia la concepción moderna, que ya era bastante explícita en Galileo, pero que no fue formulada perfectamente hasta Descartes: el concepto de que un cuerpo continúa moviéndose en línea recta hasta que interviene algo que lo detiene, lo frena o cambia su trayectoria. Como ya he dicho, esta moderna ley de la inercia puede ser imaginada más fácilmente por la mente cuando haya ocurrido una transposición, cuando veamos no ya cuerpos reales moviéndose en medio

de las restricciones del mundo real e impedidos por la presencia de la atmósfera, sino cuerpos geométricos moviéndose en un espacio euclidiano vacío. Parece que Arquímedes, cuyas obras fueron estudiadas mejor durante el Renacimiento y llegaron a ejercer una gran influencia, especialmente después de la traducción publicada en 1543, ayudó y animó a pensar de esta manera; y nada podía haber tenido mayor importancia que la tendencia creciente a abordar un problema geométrica o matemáticamente. No hay nada más eficaz, tras haberse pasado el hombre tanto tiempo debatiendo, discutiendo y revolviendo el aire, que la aparición de alguien que traza una línea recta en la pizarra, lo cual, con la ayuda de unas cuantas nociones de geometría, resuelve completamente el problema en poco tiempo. Es muy probable que Arquímedes, el hombre que enseñó a pensar en el peso de un objeto en el agua, después su peso en el aire y por último, y de resultas de ello, su peso cuando no dependiera de ninguno de los dos medios, ayudase a que algunos investigadores afrontasen el problema del movimiento desde el extremo opuesto al habitual y tratasen de imaginar que la forma más sencilla de movimiento sería aquella que ocurriese sin ningún medio que influyera en él. De este modo, uno presumía una tendencia en los cuerpos a continuar en el estado de movimiento en que se encontrasen, según una línea recta, y solo después se comenzaba a examinar qué cosas podían interrumpirlo, frenarlo o calificarlo; mientras que Aristóteles, al presuponer que el estado de reposo es lo natural y que los cuerpos tienden a volver a él cuando quedan abandonados a sí mismos, se encontró ante el difícil problema de encontrar un agente motor que actuase durante todo el tiempo que el cuerpo estuviese en movimiento.

Por otra parte, hay que hacer honor a la verdad diciendo que Aristóteles, al pensar en el movimiento, tenía en mente un carro arrastrado por un caballo, de modo que todo su enfoque del problema quedó viciado al fijar su preocupación en un ejemplo mal escogido. El hecho mismo de que sus enseñanzas sobre el tema de los proyectiles fueran tan poco satisfactorias fue quizá lo que ayudó a que se produjera el fenómeno que se dio en épocas posteriores cuando, al pensar en movimiento, la idea básica era más bien la de un proyectil lanzado, lo cual dio lugar a ideas nuevas en relación con todo el problema.

Es natural que la transición hacia la ciencia moderna nos parezca con frecuencia una reacción contra las doctrinas de Aristóteles. Puesto que existía una resistencia conservadora que había que combatir, no había nada más natural sino que los partidarios de las ideas nuevas se sintieran obligados a elaborar lo que, en más de una ocasión, llegó a ser una polémica encarnizadamente antiaristotélica. Sin embargo, las apariencias engañan, y muchas veces es más justo considerar las nuevas ideas como la conclusión a la que llegaron los sucesivos comentaristas de Aristóteles. Aquellos hombres se dieron cuenta de la deuda de agradecimiento que tenían con el antiguo maestro y siguieron apoyándose en una parte importante de su sistema, a pesar de que en algún punto que otro estuvieran rompiendo las fronteras en las que quedaba encerrado. Al responder a los conservadores de su tiempo, los innovadores argüían con frecuencia que el propio Aristóteles habría estado de su parte si hubiera vivido en aquel tiempo. No debemos permitir que los conflictos surgidos a finales de la Edad Media y comienzos de la moderna empequeñezcan la idea que tenemos de la grandiosidad de aquel maestro de la Antigüedad, que tantas ideas y tantas controversias provocó, y que ocupó durante tanto tiempo una posición de indiscutible preponderancia. Ni deberíamos imaginarnos que Aristóteles sufriera de los mismos defectos que los que, en los siglos XVI y XVII, pretendían pertenecer al partido aristotélico por el mero hecho de ser conservadores.

La obra de Pierre Duhem, que hace más de cincuenta años destacó la importancia de la teoría del ímpetu en el siglo XVI, ha sido atacada repetidas veces desde entonces. Por una parte, sus orígenes han sido situados más allá de Jean Buridan y la escuela parisina y han sido llevados hasta el Merton College de Oxford. Por otra, se ha hecho notar, con mucha razón, que la transición de la teoría del ímpetu hacia las doctrinas de la inercia modernas requirió —por ejemplo, en Galileo— una originalidad mucho mayor de lo que algunos autores parecen conceder. También es cierto que la originalidad de los autores del siglo XVI iba más allá del problema del movimiento del que nos hemos ocupado hasta ahora, y ya entonces, como veremos más adelante, se estaban produciendo avances importantes en la discusión teórica del método científico. Se cae fácilmente en la exageración de la

importancia del papel desempeñado por los precursores medievales, y al hacerlo se le restan méritos y magnitud a la revolución que se desarrolló en el siglo XVII. Pero la obra de Duhem, en el campo que hemos estado examinando, ha constituido un factor muy importante en el notable cambio que se ha producido en la actitud de los historiadores de la ciencia con respecto a la Edad Media. Una de las líneas de la narración histórica que nos concierne es el progreso alcanzado en ocasiones por la evolución del propio pensamiento escolástico. En otras palabras, el mundo moderno es en cierto sentido una continuación del mundo medieval; no puede ser considerado simplemente una reacción contra el primero. De resultas de esto, algunos historiadores de la ciencia se han visto inclinados a modificar el concepto tradicional de Renacimiento y a considerar que, ya en los siglos XI o XII por lo menos, comenzó un movimiento evolutivo coherente del pensamiento occidental.

2
EL CONSERVADURISMO DE COPÉRNICO

Cualquier bosquejo introductorio de la opinión medieval sobre el cosmos ha de abordarse ante todo con la reserva de que, en este campo particular del pensamiento, había variantes, incertidumbres, controversias y tendencias que no sería posible describir con detalle. Por tanto, en conjunto quizá fuera conveniente tomar como pauta la idea de Dante del universo, porque de este modo nos será más fácil anotar entre paréntesis algunas de las variantes más importantes; al mismo tiempo, este sistema nos permitirá contemplar de un solo vistazo las cimas de las múltiples objeciones que la teoría de Copérnico tardó unos ciento cincuenta años en vencer.

Según Dante, lo que debemos imaginar es una serie de esferas, unas dentro de otras, y en el centro de todo el sistema la Tierra en estado de reposo. El ámbito de lo que podríamos llamar materia ordinaria queda confinado a la Tierra misma y a sus inmediaciones —la región que queda por debajo de la Luna—; esta materia, lo que podemos tomar entre los dedos y que la ciencia física moderna se ha puesto a estudiar, es humilde e inestable, quedando sujeta a cambios y descomposiciones por motivos que estudiaremos más adelante. Los cielos y los cuerpos celestes —las esferas que giran y las estrellas y los planetas que están fijados a ellas— también están compuestos de otra forma muy tangible de materia, pero que es de calidad más sutil y no sujeta al cambio ni a la descomposición. No está sujeta a las leyes físicas que gobiernan la materia de tipo más térrea situada por debajo de la Luna. Desde el punto de vista de lo que llamaremos «ciencia física pura», la Tierra y los cielos, por tanto, estaban aislados los unos de la otra y, para el estudiante medieval, eran dos organismos separados, a pesar de que, en un sistema más amplio de ideas, se ensamblaban para formar un cosmos coherente.

Por lo que respecta a la materia ordinaria de que se compone la Tierra, está formada por cuatro elementos, escalonados de acuerdo con su virtud, con su nobleza. Tenemos primero la tierra, que es el elemento más bajo de todos; después el agua; luego el aire y finalmente el fuego, que es el más alto en la jerarquía. No obstante, no vemos a estos elementos en su forma pura y sin mezcla (la materia térrea que tenemos en la mano cuando cogemos un poco de tierra del suelo es un compuesto bajo, y el fuego que en realidad vemos es una mezcla con algo de terrenidad). De los cuatro elementos, la tierra y el agua poseen gravedad; tienen tendencia a caer; no pueden quedar en reposo más que en el centro mismo del universo. El fuego y el aire no tienen gravedad, sino todo lo contrario; se caracterizan por su ligereza y su tendencia a elevarse, aunque la atmósfera está algo adherida a la Tierra debido a que está cargada de bajas impurezas mundanas. Y es que cada uno de los elementos tiene su esfera y aspira a alcanzar la que le pertenece, donde hallará estabilidad y reposo; y cuando, por ejemplo, la llama se haya elevado hasta sus propias regiones superiores, se sentirá feliz y satisfecha, porque allí gozará de tranquilidad y podrá durar en grado sumo. Si los elementos no se mezclasen —si estuviese cada uno de ellos en el lugar que le corresponde, en su propia esfera—, tendríamos en el centro de todas las cosas una esfera sólida de tierra, cada una de cuyas partículas estaría en reposo. Tendríamos entonces un océano que cubriría todo el globo, como un gorro que lo envolviese por completo; luego, una esfera de aire que, mucho más arriba que la cima de las más altas montañas, se movería de este a oeste por simpatía con el movimiento de los cielos. Por último, estaría la región del fuego perpetuo, que envolvería completamente a todo el resto.

Sin embargo, esto representaría un universo muerto. De hecho, un corolario de esta teoría del universo era que el movimiento corriente arriba, abajo o en línea recta no podía ocurrir más que si había algo que no estaba como debiera estar, algo que estuviese fuera de su propia esfera. Por tanto, era muy importante que los diversos elementos no estuvieran todos en su orden propio, sino algo mezclados y fuera de lugar; por ejemplo: se había sacado un poco de tierra por encima de las aguas, elevándola desde su propia esfera del fondo, con el fin de procurarnos terreno habitable. En

dicha tierra existían objetos naturales, y puesto que eran mezclas podían, por ejemplo, contener agua, la cual, en cuanto encontraba una vía, tendía a buscar su camino hacia el mar. Por otra parte, podían contener el elemento fuego, que se escapaba de ellos al arder, agitándose y buscando su camino hacia arriba, aspirando a alcanzar su verdadera morada. Pero los elementos no son siempre capaces de seguir la llamada de su naturaleza de esta forma tan pura; algunas veces el fuego puede dirigirse hacia abajo, como en el caso del rayo, o el agua puede elevarse en forma de vapor, para formar un cúmulo de lluvia. Sin embargo, hay un punto en el que la ley es invariable: mientras los elementos estén fuera de sus propias esferas, tienen que ser inestables; no pueden estar, de ningún modo, en estado de paz y reposo. Tal como los encontramos, entremezclados en la superficie del globo, dan lugar a un mundo enmarañado y lleno de casualidades, un mundo que estará constantemente sujeto a mutaciones, condenado a la disolución y a la descomposición.

No aparece tierra más que en el hemisferio norte, surgiendo de las aguas que cubren el resto del orbe. Según Dante, esta tierra ha sido arrancada a su propia esfera (no por la influencia de la Luna o de los planetas de la novena esfera, sino, en su opinión, por la de las estrellas fijas). La Tierra se extiende desde las Columnas de Hércules, en el oeste, hasta el Ganges, en el este; desde el ecuador, en el sur, hasta el círculo ártico, en el norte. Y en el centro de todo el mundo habitable se encuentra Jerusalén, la Ciudad Santa. Dante había oído relatos de viajeros que habían descubierto una parte mucho mayor del continente africano, que habían encontrado tierra mucho más al sur de lo que él había aprendido a considerar posible. Como verdadero racionalista, parece ser que rechazó las «fábulas» que contradecían a las ciencias naturales de su tiempo, recordando que los viajeros solían mentir mucho. La cantidad desproporcionada de agua que había en el mundo y la distribución desigual de las tierras alentaron ciertos debates con respecto a la situación del verdadero centro de la Tierra. Sin embargo, los grandes descubrimientos, culminando en uno indudable, el de América, provocaron cierto cambio de ideas, así como un debate en torno a la posibilidad de que existiesen tierras habitadas en los antípodas. Existía la opinión cada vez más predominante de que la tierra y el agua, en vez de

corresponder a dos esferas diferentes, una sobre otra, en realidad pertenecían ambas a la misma esfera.

Todo esto concierne a la región sublunar, pero hay otro ámbito material que hay que tener en cuenta y que, como ya hemos visto, está gobernado por leyes diferentes. Los cielos no están condenados a cambiar y a descomponerse porque, junto con el Sol, las estrellas y los planetas, están formados por un quinto elemento, una clase de materia incorruptible, que se rige por un sistema distinto de lo que llamaríamos leyes físicas. Si la Tierra tiende a caer hacia el centro del universo y el cielo tiende a elevarse hacia su propia esfera, por encima del aire mismo, la materia incorruptible que forma los cielos no tiene motivo alguno de descontento; está ya en el lugar que le pertenece por derecho propio. No tiene más que una clase de movimiento posible, el circular: tiene que girar mientras se mantenga en el mismo sitio. Según Dante, hay diez cielos, de los cuales solamente el décimo, el empíreo, la morada de Dios, está en reposo. Cada uno de estos cielos es una esfera que rodea al globo terrestre, y aunque todas ellas son transparentes, son suficientemente tangibles y reales para llevar sobre sí uno o más de los cuerpos celestes mientras giran alrededor de la Tierra; todo el sistema forma un juego de esferas transparentes, una alrededor de la otra, con la dura Tierra en el centro del conjunto. La esfera más próxima a la Tierra tiene sujeta a sí misma a la Luna y las otras llevan a los planetas o al Sol, hasta que llegamos a la octava, a la que están sujetas todas las estrellas fijas. La novena esfera no tiene sujetos planetas ni estrellas, nada que dé señales visibles de su existencia, pero tiene que existir porque es el *primum mobile*; no solamente gira ella, sino que hace girar a todas las otras esferas o cielos, de este a oeste, de modo que una vez cada veinticuatro horas todo el sistema celestial describe una revolución en torno a la Tierra inmóvil. Esta novena esfera gira más rápidamente que ninguna de las demás, porque los espíritus que la mueven tienen todos los motivos para ser ardientes. Son los que más cerca están del cielo empíreo.

En el sistema de Aristóteles, se suponía que las esferas estaban formadas de un sutil material etéreo, que se movía más suavemente que los líquidos y sin ninguna clase de fricción; pero, con el paso del tiempo, parece que la idea se fue volviendo más burda y más vulgar. Los cielos

sucesivos se fueron transformando en globos vítreos o cristalinos; sólidos, pero todavía transparentes, de forma que cada vez fue más difícil para el hombre recordar el hecho de que carecían de fricción y de peso, aunque formalmente se seguía manteniendo la teoría de Aristóteles a este respecto.

La belleza que tuvo en su origen este sistema en esencia aristotélico se encontraba gravemente comprometida, sin embargo, por los adelantos en el campo de la observación astronómica desde los tiempos en que adquirió su forma original, porque ya en la Antigüedad la astronomía dio un ejemplo notable del progreso que se podía alcanzar en la ciencia con tan solo dejar correr el tiempo, solo con el cúmulo creciente de observaciones y la precisión cada vez mayor al anotar los hallazgos. A principios de la era cristiana, en los tiempos de Ptolomeo, las complicaciones eran ya serias, y en la Edad Media tanto los árabes como los cristianos hicieron nuevos descubrimientos que complicaron el sistema. La totalidad de la máquina celeste precisaba ser estudiada para que pudiera explicar el hecho de que algunos planetas, tal y como los veía el que los observaba, se detuviesen de pronto en el cielo, retrocediesen en su camino, cambiasen su distancia a la Tierra o alterasen su velocidad. Por muy irregulares que pareciesen los movimientos de los planetas, por muy extraño que se antojara el camino que recorrían, su comportamiento tenía que ser reducido, forzosamente, a una órbita circular, incluso a un movimiento uniformemente circular, y en caso de ser necesario a un sistema de movimientos circulares, cada uno de los cuales compensase a otro. Dante explica que Venus gira con la esfera que forma el tercero de los cielos; pero como eso no se ajusta exactamente a los fenómenos observados, a la esfera del tercer cielo se le fija otra que gira independientemente y a ella se fija el planeta (engastado en ella como una gema, dice Dante), reflejando la luz del Sol. Los autores, sin embargo, no coincidían en este punto, y encontramos también la opinión de que el planeta era más bien algo como un nudo en la madera, o que no representaba nada más que una condensación de la materia que formaba la totalidad de la esfera celeste, una especie de hinchazón que captaba la luz solar y que, como resultado, brillaba de forma especial.

Los autores discrepaban también acerca de la cuestión de si el conjunto de esta maquinaria más sofisticada —las excéntricas o epiciclos—, como la

habían propuesto Ptolomeo y sus sucesores, existía efectivamente en la estructura real de los cielos, aunque la teoría de las esferas cristalinas persistió hasta el siglo XVII. Como el nuevo conjunto, tan complejo, exigía ochenta esferas, algunas de las cuales tenían que intersecarse con otras mientras giraban, algunos autores consideraban que los círculos y epiciclos eran meros instrumentos geométricos que servían de base de cálculo y predicción. Y algunos de los que opinaban que los nueve cielos eran en verdad esferas cristalinas, consideraban posible que el resto de la maquinaria no era nada más que un armazón matemático para representar esas irregularidades y anomalías que sabían que no podían explicar correctamente. Pero lo interesante es que, mucho antes de la época de Copérnico, existía ya la certidumbre de que el sistema ptolemaico, a pesar de toda su complicación, no conseguía explicar exactamente los fenómenos tal y como se los observaba. En los siglos XVI y XVII seguiremos encontrando gente que admite que el sistema ptolemaico es inadecuado y que dirá que hay que sustituirlo por otro nuevo, aunque, por motivos comprensibles, se nieguen a aceptar la solución ofrecida por Copérnico. El propio Copérnico, al explicar por qué su mente se había dirigido hacia un posible sistema celeste nuevo, mencionaba, entre otras cosas, las opiniones divergentes que ya existían. Al sistema ptolemaico se lo llamaba más bien «hipótesis ptolemaica», e incluso podemos leer una definición de las teorías de Copérnico, hecha por uno de sus seguidores, en la que dice que es «la revisión de la hipótesis». Quizá muchos de nosotros hayamos ido demasiado lejos al suponer que el sistema ptolemaico era de una solidez absoluta y que todos los predecesores de Copérnico lo seguían a ciegas.

Finalmente, según Dante, las diversas esferas son movidas por inteligencias o espíritus, que tienen diferentes categorías según los grados de nobleza que existen en el mundo físico. Los más bajos de entre ellos son los ángeles que mueven la esfera de la Luna, porque la Luna está en el más humilde de los cielos; tiene manchas oscuras que demuestran sus imperfecciones; se la asocia con lo servil y lo pobre. (Según este sistema más antiguo, no era la Luna sino el Sol el que procuraba materia para la poesía romántica.) Gracias a las diversas inteligencias que operaban por medio de los cuerpos celestes, Dios creó el mundo material no tocándolo,

como si dijéramos, nada más que a través de intermediarios. Lo que creó no era más que materia primigenia que, más adelante, recibió la forma del mundo por influencias celestes. Sin embargo, Dios crea las almas humanas con sus propias manos, y estas a su vez son de una sustancia especial; son incorruptibles. Incluso ahora, mucho después de la Creación, los cielos siguen influyendo sobre la Tierra, dice Dante; por ejemplo, Venus obra sobre los amantes mediante un poder que procede no de la esfera, sino del planeta mismo; un poder que se transmite materialmente por sus rayos. Hacía mucho tiempo que la Iglesia se defendía de las implicaciones deterministas de la astrología y seguiría haciéndolo después, en los tiempos de Dante, aunque ya se estaban aplicando medios que permitían reconciliar a la astrología con las enseñanzas cristianas referentes al libre albedrío. Dante decía que las estrellas influyen en las tendencias más bajas de los hombres; pero Dios dio a todos ellos un alma gracias a la cual pueden superar estas circunstancias adversas. A veces nos encontramos incluso con la opinión contraria: que las estrellas no pueden alentar nada más que al bien y que la propia disposición del hombre hacia el mal es la responsable si cae en el pecado. Los que atacaban a la astrología argüían con frecuencia que la observación del curso de los cuerpos celestes no era suficientemente exacta para permitir predicciones detalladas. Los propios astrólogos, cuando resultaba que sus predicciones no se cumplían con exactitud, echaban la culpa a lo defectuoso de la observación astronómica, antes que inculpar a la que consideraban su ciencia. La controversia entre los afectos y los contrarios a la astrología, por tanto, podía ser dirigida por un canal en el que se transformase en un círculo vicioso. Parece como si, a pesar de lo que señalamos sobre los comienzos de los tiempos modernos, la astrología, como la quema de brujas, se hubiese incrementado considerablemente en los siglos XVI y XVII.

En toda esta imagen del universo hay más de Aristóteles que de cristianismo. La autoridad de aquel filósofo y la de sus seguidores eran las responsables incluso de las facetas de sus enseñanzas que podría parecernos que poseen algo de sabor eclesiástico: las jerarquías celestes, las esferas que giran, las inteligencias que movían a los planetas, las categorías de los elementos con arreglo a su nobleza y la opinión de que los cuerpos celestes

estaban constituidos por una quintaesencia incorruptible. Podemos decir perfectamente que era más bien Aristóteles, y no Ptolomeo, quien tenía que ser destronado en el siglo XVI. Era necesario llegar a un gran adelanto respecto a las enseñanzas científicas generales de Aristóteles, antes que el mundo estuviese en condiciones de hacer justicia a la hipótesis de Copérnico. Una vez más, quizá precisamente por el mérito extraordinario y el gran poder de sus enseñanzas, el antiguo maestro aparece como una obstrucción al progreso de la ciencia.

La gran obra de Copérnico, *De revolutionibus orbium*, fue publicada en 1543, aunque parece que el autor había trabajado ya en ella y comenzado a elaborar su sistema desde los primeros años del siglo. Con frecuencia se ha dicho que ni siquiera era un gran observador, y su sistema no fue el resultado de una pasión por nuevas observaciones. Dicha pasión entró en la astronomía más adelante en el siglo, especialmente con Tycho Brahe, quien siempre se negó a aceptar las teorías de Copérnico y que, entre otras cosas, introdujo la práctica de observar los planetas a lo largo de sus órbitas enteras en vez de tratar de verlos solamente cuando se encontraban en un lugar determinado de aquellas. Es incluso cierto que Copérnico se fijó demasiado en las observaciones transmitidas por el propio Ptolomeo desde la Antigüedad. En uno de sus escritos critica a un contemporáneo por ser demasiado escéptico con respecto a la exactitud de las observaciones del griego. Otro gran astrónomo posterior, Kepler, dijo que Copérnico no consiguió ver las riquezas que estaban al alcance de su mano y que se conformó con interpretar a Ptolomeo en vez de a la naturaleza misma. Parece que uno de sus objetivos era encontrar un nuevo sistema que reconciliase todas las observaciones hechas, y un discípulo suyo explica que las tenía todas ante sí, como en una serie de catálogos. No obstante, se admite que cometió el error de aceptar las observaciones malas y mezclarlas con las buenas, sin discriminar. Un autor moderno señala que, como estaba elaborando un sistema que pretendía explicar los mismos fenómenos que abarcaba la teoría ptolemaica, puede que hubiera hecho bien en no exponerse a que le atacasen diciendo que estaba amañando las observaciones del griego para hacerlas encajar mejor en su propia hipótesis. Sin embargo, su confianza en las observaciones antiguas hizo que tuviese

que luchar contra anomalías celestes que en realidad no existían, y en algún caso incurrió en complicaciones que dificultaron que su sistema fuese aceptado.

Por tanto, si le preguntásemos por qué se sintió inclinado a intentar una nueva interpretación de los cielos, nos contestaría que se sentía desorientado por las diferencias de opinión ya existentes entre los matemáticos. Existen pruebas de que hubo un dato obtenido por observación que le causó perplejidad: se quedó muy sorprendido ante las variaciones de luminosidad de Marte que él mismo había observado. Se trataba del planeta que durante el siglo siguiente plantearía grandes dificultades a los astrónomos y que sería el motivo de notables adelantos en la astronomía. El propio sistema de Copérnico explicaba tan deficientemente los fenómenos observados en Marte que Galileo, en su obra más importante sobre este tema, le alaba por haberse adherido a su nueva teoría a pesar de que contradecía los hechos observados, en particular los relativos al comportamiento de Marte. Parece que Copérnico encontraba un estímulo todavía mayor para proseguir su gran empresa en el hecho de que padecía una obsesión y tenía que librarse de una profunda ofensa. No era partidario del sistema ptolemaico por un motivo que debemos considerar sorprendentemente tradicionalista: sostenía que, de una manera curiosa, ofendía a causa de lo que casi podríamos llamar una especie de engaño premeditado. Ptolomeo había pretendido seguir los principios de Aristóteles reduciendo los movimientos de los planetas a combinaciones de movimientos circulares uniformes, pero en realidad no siempre se trataba de movimiento uniforme alrededor de un centro; algunas veces no era uniforme más que si era considerado un movimiento angular alrededor de un punto que no era el centro. Ptolomeo, en efecto, había introducido la artimaña de lo que se llamaba «ecuante», que permitía hablar de un movimiento angular uniforme alrededor de un punto que no fuese el centro, y debió de ser cierto resentimiento contra aquella operación de prestidigitación lo que impulsó a Copérnico a cambiar todo el sistema. Tanto el que creó él mismo como el carácter de ciertas ideas asociadas a él, y que dieron a su mentalidad una marcada parcialidad, demuestran que se tomó muy en serio la crítica del mecanismo de Ptolomeo.

Algunas veces se ha puesto de relieve algo más. Quizá la mejor manera de explicarlo sea imaginarnos a un jugador competente que contempla el tablero de juego hasta que, tras haber estado observando durante bastante tiempo, parece como si una serie coherente de jugadas de su adversario se hubieran marcado en su mente con mayor claridad que las otras, exigiendo ser eliminadas por un cambio amplio y envolvente de su táctica de juego. Un observador del juego puede a veces percibir que destacan a simple vista algunas de las piezas, por ejemplo, las negras que esperan a ser comidas en cuanto el jugador de las blancas pueda poner a su rey en un lugar seguro. Parece que lo que ocurrió fue que una mente tan geométrica como la de Copérnico pudo contemplar el complejo diagrama del cielo ptolemaico y descubrir una serie de círculos que exigían ser eliminados siempre y cuando se dispusiese de una reina que se los pudiese comer: todos ellos desaparecerían en cuanto se le ocurriera a uno imaginar a la Tierra en movimiento. Y es que si los antiguos no sabían que ellos, los espectadores del cielo, se movían, era inevitable que se vieran obligados a atribuir a cada uno de los cuerpos celestes un movimiento adicional, innecesario y complejo —el Sol, los planetas y las estrellas precisaban cada uno un círculo especial en el diagrama, un círculo que lo complicaba todo— y, en todos y cada uno de los casos, podía ser resuelto mediante una sola fórmula, puesto que correspondía en todos los casos al movimiento de la propia Tierra. Como geómetra y matemático, a Copérnico debió de chocarle la redundancia de la enorme cantidad de círculos.

Por último, es necesario que recordemos, en relación con todo esto, la forma en que Copérnico llega al lirismo, casi hasta la adoración, cuando escribe sobre la regia naturaleza y la posición central del Sol. No estaría solo si demostrase que lo que le había llevado a su estudio genuinamente científico había sido algo de carácter místico o un sentimiento neoplatónico. Mantuvo una opinión que se ha relacionado con las especulaciones platónicas y pitagóricas acerca de que la inmovilidad es algo más noble que el movimiento, y ello afectó a su actitud hacia el Sol y las estrellas fijas. Por tanto, hubo muchos factores que se combinaron para estimular su mente y provocar en él la duda en torno al antiguo sistema astronómico.

Había pasado una serie de años en Italia durante uno de los periodos más brillantes del Renacimiento, y allí aprendió algo de las especulaciones platónico-pitagóricas que estaban por entonces de moda, además de asimilar, sin duda alguna, parte de las nuevas matemáticas que habían surgido al conocer mejor los descubrimientos de los antiguos. El modo en que siempre habló de Ptolomeo demuestra su respeto por el mundo de la Antigüedad, y al no ver motivos especiales para no estar de acuerdo con el estado en que se hallaba la astronomía, nos dice que volvió al estudio de lo que los autores de la Antigüedad habían dicho sobre todo aquel asunto. Una vez más, al igual que en el caso de la teoría del ímpetu, los nuevos descubrimientos científicos pudieron apoyarse en observaciones hechas por los autores clásicos y gozaron del estímulo de las diferencias de opinión que ya habían existido en la Antigüedad. Algunos autores de finales de la Edad Media, como Nicolás de Cusa, se habían encontrado ante la pregunta de si la Tierra se movía y se habían mostrado dispuestos a estudiar la idea. Pero nadie se había preocupado de calcular los detalles de un sistema de este tipo y, hasta los tiempos de Copérnico, la teoría heliocéntrica no había sido nunca elaborada matemáticamente para ver si podía concordar y explicar los fenómenos observados de la forma competente en que el sistema ptolemaico había demostrado ser capaz de hacerlo. Solamente la teoría de Ptolomeo había ofrecido hasta entonces las ventajas que el mundo moderno sabía valorar, el mérito de haber sido establecida de manera concreta, demostrando que explicaba los hechos (en conjunto) cuando era aplicada con detalle a cada fenómeno. Quizá Copérnico encontrase apoyo en una opinión transmitida hasta la Edad Media por Marciano Capella, la cual consideraba que solo dos de los planetas, Mercurio y Venus, giraban alrededor del Sol. Estos dos planetas, que se encuentran entre la Tierra y el Sol y que siempre son observados en las proximidades de este último, habían planteado desde hacía mucho tiempo problemas específicos a todos cuantos intentaban imaginarlos girando alrededor de la Tierra.

Dondequiera que encontrase las primeras pistas, lo cierto es que Copérnico se impuso la tarea de descubrir el mecanismo exacto de los cielos según la nueva hipótesis y de elaborar las matemáticas del esquema. Su teoría no era más que una variante modificada del sistema ptolemaico,

adoptando la misma maquinaria celeste pero intercambiando una o dos de las ruedas por la transposición de los papeles de la Tierra y del Sol. El asunto se complicó algo al intentar explicar todos los movimientos observados de los planetas por un sistema más original de movimiento circular uniforme; uniforme respecto al centro del círculo sin emplear los ecuantes ni ningún truco de prestidigitador. Sin embargo, tuvo que emplear el antiguo e intrincado sistema de esferas y epiciclos, a pesar de que podía aducir que su hipótesis reducía el número de esferas de ochenta a treinta y cuatro. Aunque se han expresado algunas dudas (y él mismo afirmó que el asunto no le concernía), parece que creía en la existencia de las esferas móviles —los cielos cristalinos superpuestos— y, de todos modos, el astrónomo Kepler así lo creía. Uno de los inconvenientes de su teoría era que, después de todo, su sistema no era exactamente heliocéntrico; la Tierra no describía un círculo perfecto cuyo centro fuese el Sol y, de hecho, todos los movimientos de los cielos fueron calculados desde el centro de la órbita de la Tierra, que quedaba algo ladeado, y no desde el propio Sol. Esto era significativo porque infringía la antigua doctrina de que tiene que existir un núcleo central de materia sólida alrededor del cual giran, apoyándose en ella físicamente, como en un eje, todas las demás cosas: el cubo de la rueda tenía que ser algo más positivo que un mero punto matemático.

Como la antigua teoría de Ptolomeo había explicado más o menos todos los fenómenos, mientras que el sistema de Copérnico lo hacía de forma solo aproximada, muchos de los argumentos que se emplearon en defensa de la nueva hipótesis se basaban en su mayor economía, sus matemáticas más sencillas y la mayor simetría de su mecanismo. Los que no podían creer que la Tierra se movía no tenían más remedio que admitir que la teoría de Copérnico ofrecía un método más sencillo y más rápido de llegar a la predicción y al cálculo. Así como en la teoría antigua las estrellas fijas giraban en una dirección y a una velocidad que parecía increíble, mientras que la mayoría de los planetas lo hacían en sentido opuesto y a menudo parecían entrar en conflicto con el Sol, ahora parecía que todo el movimiento ocurría en el mismo sentido y que la Tierra y los planetas, debidamente espaciados y en orden, giraban alrededor del Sol en sus amplias órbitas, con un tiempo de traslación proporcional a la distancia que

los separaba de aquel. No se precisaban más que treinta y cuatro círculos en lugar de ochenta, como ya hemos visto, y al hacer girar a la Tierra una vez alrededor de su eje en veinticuatro horas dejaba de ser necesario hacer que los cielos describiesen una rotación completa cada día.

Por otra parte, algo de lo que podríamos considerar lo maravillosamente económico del sistema de Copérnico, no resultó patente hasta más adelante; por ejemplo, al ser eliminadas algunas de las complicaciones y dificultades con que se encontró el propio Copérnico. Y aunque desde el punto de vista puramente óptico, o desde el del geómetra, la nueva hipótesis era más económica, resultaba más derrochadora en otro aspecto porque, con respecto a la física del siglo XVI, presentaba un número mayor de aspectos aislados que requerían explicaciones propias. De todas formas, una parte de la aparente economía del sistema de Copérnico es más bien una ilusión óptica de siglos más recientes. Nosotros podemos decir hoy que requiere menos esfuerzo hacer que la Tierra se mueva alrededor de su eje que hacer girar todo el universo alrededor de ella en veinticuatro horas; pero en la física aristotélica se requería una fuerza colosal para hacer que la Tierra, pesada y voluminosa, se moviera, mientras que los cielos estaban hechos de una sustancia sutil que se suponía exenta de pesantez, lo que hacía muy fácil moverlos, tanto más cuanto que concordaba con su naturaleza. Ante todo, si concedemos a Copérnico una cierta ventaja en cuanto a sencillez geométrica, el sacrificio que había que hacer para aceptarlo era, desde cualquier punto de vista, enorme. Perderíamos toda la cosmología relacionada con las teorías aristotélicas, todo el complejísimo sistema de ensambladuras en el que la nobleza de los diversos elementos y su gradación jerárquica había sido tan maravillosamente ordenada. De hecho, lo que se necesitaba era echar por tierra toda la estructura de la ciencia existente, y allí fue donde Copérnico falló, donde no pudo ofrecer una alternativa satisfactoria. Proporcionó una geometría celeste más clara y diáfana, pero a costa de quitarles todo el sentido a las razones que se habían dado para explicar los movimientos del cielo. Aquí, al igual que en el caso de la doctrina del ímpetu, era necesario ir más lejos y completar la Revolución científica antes de poder enfrentarse desde una posición firme a las críticas que se podían hacer al nuevo sistema. Por tanto, Kepler tenía

razón al decir que Copérnico ignoraba las riquezas que poseía y que cometió el error de querer atenerse demasiado al sistema ptolemaico.

Todo ello resulta más claro cuando Copérnico trata de responder a las objeciones que se le hacían y sobre todo cuando se ve obligado a demostrar cómo funciona la maquinaria celeste, en el supuesto de que su esquema geométrico fuera correcto. Todos nos damos cuenta de que cuando dos trenes pasan uno junto al otro no es fácil decir si el que se mueve es el nuestro o el otro; y debía hacer ya tiempo que se conocía esta relatividad puramente óptica del movimiento, porque, de no ser así, nunca se le podría haber ocurrido ni al mundo de la Antigüedad ni al de la Edad Media discutir si el que se movía era el Sol o la propia Tierra. Todo el mundo puede invocar la premisa concerniente a la relatividad del movimiento para animar la discusión, pero ello sigue sin dar respuesta a la cuestión fundamental: no nos dice cuál de los dos trenes es el que se mueve en realidad. A fin de poder comenzar a discutir esta cuestión, Copérnico tuvo que adentrarse aún más en el problema y tratar de averiguar la naturaleza y la causa del movimiento; tuvo que dejar la geometría pura y el problema concreto de la confirmación de los cielos para tratar puntos que conciernen a la física pura. Si se le preguntase a Copérnico por qué se mueven la Tierra y los cuerpos celestes contestaría: porque son esféricos, o porque están fijos a órbitas esféricas. Si colocamos una esfera en cualquier punto del espacio, comenzará a girar de modo natural —lo haría sin que nadie la impulsase a ello— porque girar de esa manera pertenece a la naturaleza intrínseca de la esfera. Mientras que Aristóteles había hecho que el movimiento dependiese de la naturaleza completa de los cuerpos celestes en cuanto tales, se ha puesto de relieve que Copérnico observa un poco con ojo de geómetra; porque, en su argumentación, la naturaleza del cuerpo quedaba decidida simplemente por su forma geométrica, y el movimiento dependía única y exclusivamente de la esfericidad. Además, todos los cuerpos aspiraban a transformarse en esferas —como el agua al formar gotas—, por la sencilla razón de que la esfera representa la forma perfecta. La gravedad misma podía pertenecer tanto al Sol y la Luna como a la propia Tierra —podía pertenecer a cualquier cuerpo esférico—, puesto que representaba la

tendencia de todas las partes de un cuerpo a reunirse y consolidarse en una forma esférica.

De hecho, desde cierto punto de vista, el movimiento real de la Tierra se sitúa en su propio lugar como algo casi obvio en el sistema de Copérnico, el cual, visto geométricamente como ya he dicho, no es más que la antigua configuración ptolemaica en la que se han permutado una o dos esferas y se han eliminado otras. Si se observa con detenimiento el nuevo sistema, parece ser un conjunto de características distintas que poco a poco comienzan a adquirir relieve, y estas tienen como consecuencia el que Copérnico contraste de modo notable tanto con el mundo antiguo como con los tiempos modernos. Lo que le aguijonea e incita a cambiar el sistema antiguo no es solo una verdadera obsesión por el movimiento uniformemente circular (el punto en que, según él, Ptolomeo había fracasado), sino que, al enfrentarse a los dos problemas más graves de su sistema —su dinámica y la cuestión de la gravedad—, da un giro inesperado a la discusión por medio de otra obsesión muy similar, al considerar a la esfera como la forma perfecta. Es increíble que en aquella época tan remota se hubiese enfrentado ya a dos problemas de tan colosal envergadura, cuestiones ante las que fracasaron cuantos le siguieron hasta los tiempos de Galileo e incluso de Newton. Con todo, su respuesta a la primera cuestión —¿cuál era la dinámica del nuevo sistema?, ¿qué ley física hacía que los cuerpos se movieran de la forma que pretendía Copérnico?— no era ni la doctrina del ímpetu en cuanto tal ni la moderna ley de la inercia, sino la opinión de que los cuerpos esféricos tienen que girar; la propia Tierra, según este principio, no podía hacer nada más que girar. Si consideramos el otro gran problema —ahora que la Tierra no es ya el centro del universo, ¿qué sucede con toda la teoría aristotélica de la gravedad?—, Copérnico se adhiere a la que, en un aspecto, es la opinión moderna: que no solamente la Tierra, sino también otros cuerpos, como el Sol y la Luna, tienen gravedad. Pero él reduce toda la noción al mismo principio fundamental: la tendencia de todas las cosas a formar esferas y consolidarse en dicha forma, porque la forma esférica es la perfecta. Esto hace que su síntesis sea tan extraordinaria, ya que no solo sustituye la astronomía de Ptolomeo, sino que ataca a la física de Aristóteles en

cuestiones de principio, en cuestiones absolutamente fundamentales. Y la pasión que constituye el motor de todas las cosas se relaciona con lo que para nosotros podría parecer una obsesión por la esfericidad y la circularidad, una obsesión que oscurece la del propio Ptolomeo. Cuando, como quien dice, volváis a pensar por tercera vez en este texto, cuando hayáis olvidado todas las otras cosas que en él se dicen, ante vuestros ojos seguirá flotando esta visión, una fantasía de círculos y esferas que es el sello personal de Copérnico, la quintaesencia de su pensamiento. Y aunque ejerció una cierta influencia en el siglo XVI, tenemos que señalar que no entró nunca en esa forma tan significativa en las ideas del siglo XVII ni en la ciencia de los tiempos actuales.

En general, es importante que no pasemos por alto el hecho de que las enseñanzas de Copérnico están entremezcladas (de la forma acostumbrada en las ciencias de la Antigüedad) con conceptos de valores, explicaciones teológicas y formas de lo que podríamos llamar «animismo». Más que abrir una nueva época, se ve claramente que está cerrando otra. Él mismo no es más que uno de los constructores de sistemas universales, como Aristóteles y Ptolomeo, que nos asombran por el poder que demostraron al elaborar una síntesis tan mítica —y tan desatinada para la ciencia actual— y cuya labor consideramos por fuerza como una simple cuestión de juicio estético. Una vez que descubrimos el verdadero carácter del pensamiento de Copérnico, no podemos dejar de reconocer que la verdadera Revolución científica todavía tenía que llegar.

Copérnico no fue capaz de afirmar su argumentación en el marco del sistema de ideas antiguo. No pudo dar más que una respuesta poco satisfactoria a la antigua objeción de que, si la Tierra girase, sus partes saldrían lanzadas al espacio hasta quedar deshecha. Dijo que, como la rotación era para la Tierra un movimiento natural, no podían surgir de ella efectos perniciosos, porque el movimiento natural de un cuerpo nunca podía ser tal que fuese capaz de destruir la propia naturaleza de aquel cuerpo. Era la argumentación de un hombre que seguía aferrado por un pie al aristotelismo, aunque, quizá precisamente por parecernos arcaica a nosotros, era más adecuada para convencer a las mentes conservadoras que se enfrentaban a él en el siglo XVI. Cuando se dijo que si el mundo girase de

oeste a este (de la forma insinuada por Copérnico) el aire quedaría atrás y se produciría un viento constante de este a oeste, volvió a contestar en cierto modo en términos de la física antigua al afirmar que el aire tenía que girar acompañando al globo terrestre debido a que la propia atmósfera contenía terrenidad que giraba en concordancia con todo lo que era térreo. Tampoco tuvo mucho más éxito cuando trató de responder a la objeción de que la Tierra se desintegraría al girar; no supo volverla contra los posibles críticos de su teoría diciendo que los propios cielos, si tuvieran que girar tan rápidamente como se suponía, quedarían rotos en fragmentos por efecto de las mismas leyes. Como ya hemos visto, el cielo y los cuerpos celestes carecían de peso; en la teoría aristotélica no se los consideraba sometidos a la que hoy llamamos «fuerza centrífuga». Al parecer, hasta el propio Galileo cometió errores cuando trató de enfrentarse a la misma objeción de que el mundo quedaría destrozado si girase alrededor de su propio eje. Toda esta cuestión de la fuerza centrífuga demostró ser un obstáculo importante que impidió una aceptación generalizada del sistema de Copérnico en el siglo XVI, y solo pudo ser vencido gracias a la obra de hombres como Huygens, cuyos escritos aparecieron más de cien años después que *De revolutionibus orbium*. La verdad era que Ptolomeo, en la Antigüedad, había desechado la hipótesis de una Tierra en movimiento, no porque no hubiese pensado en ella, sino porque no era posible hacerla concordar con la física de Aristóteles. La hipótesis no comenzó a abrirse camino hasta que se superó por completo la física aristotélica en otros campos de la ciencia; es decir, hasta los tiempos modernos.

Si bien Copérnico dista mucho de ser un representante de las ideas modernas, su caso puede servir para recordarnos la frecuencia con que, en la mentalidad renacentista, nos encontramos con rasgos que consideraríamos arcaicos en la actualidad. Se ha señalado que en aquellos tiempos los hombres que no querían aparecer como místicos, como perdidos en lo sobrenatural, eran quizá más bien lo que podríamos llamar surrealistas, que proyectaban los animales fabulosos de la Antigüedad y los productos de su propia imaginación sobre lo que ellos consideraban que era el mundo concreto. Por tanto, en aquel entonces más que en la Edad Media, «volvieron a adquirir importancia el basilisco, el fénix egipcio, el grifo y la

salamandra». Durante este periodo se incrementó mucho el pensamiento filosófico, y si bien gran parte de él se dedicaba al problema del alma y de la dignidad del hombre, también se consagró mucho esfuerzo intelectual al intento de reunir la totalidad de la naturaleza en un solo sistema que se explicase por sí mismo. La finalidad era eliminar influencias trascendentales —la actividad de espíritus y demonios que actuasen sobre el mundo desde fuera, o la intervención arbitraria del propio Dios— y buscar la explicación de todos los fenómenos dentro del sistema real de la naturaleza, al que se consideraba suficiente en sí mismo y bajo el gobierno de una ley. Hubo incluso una insistencia creciente en que se observasen con mayor meticulosidad los fenómenos de la naturaleza y en que no se aceptasen los datos simplemente por la autoridad de los autores de la Antigüedad. Todo este movimiento ocupa un lugar en la historia de la ciencia y contribuyó a la serie de hechos que estamos examinando, aunque más adelante constituyó un obstáculo y, en ciertos aspectos, hoy en día nos parece menos racional que el escolasticismo medieval.

Al amparo del restablecimiento del saber antiguo se mezclaron, con los ingredientes de la filosofía, formas antiguas de ocultismo, especulación cabalística hebrea, artes mágicas árabes y la mistificación de la alquimia. Aquellas influencias ayudaron a reavivar conceptos del universo que eran más antiguos que Aristóteles, formas de lo que podríamos denominar pampsiquismo, astrobiología y animismo. Si las creencias en la astrología, en la magia y en la especulación alquimista aumentaron a partir de aquel tiempo, se vieron animadas a ello por la filosofía de moda y la tendencia intelectual prevaleciente, de tal modo que lo que podríamos denominar magia no quedaba limitado a la superstición popular, sino que pertenecía a las esferas culturales de la época. De hecho, el intento de alcanzar una imagen unificada del cosmos quizá tuviera que dar lugar por fuerza a algo mágico, dadas la imperfección y la insuficiencia de los datos existentes.

Puede que los naturalistas del Renacimiento ansiaran rechazar los milagros, pero, al igual que Pomponazzi, seguían creyendo que ciertas plantas o ciertas piedras atraían la lluvia, que los animales eran capaces de profetizar o que una estatua podía sudar para anunciar un gran suceso. Estas cosas se aceptaban porque se las consideraba datos comprobados en el

universo, y hasta se podía sostener la opinión de que las plegarias eran capaces de conjurar una tormenta, no por la intervención de Dios sino por los trastornos que producían en la atmósfera. Por tanto, era posible aplicar la mente a lo que uno consideraba perteneciente a la naturaleza, pero considerando mágica a la naturaleza misma. Y quienes estaban decididos a criticarlo no eran capaces de eliminar los hechos probados de la astrología —algunos se propusieron incluso limpiarla de superstición— sin concebir que se trataba, desde cualquier punto de vista, de un fraude.

En aquel sistema era importante unir los fenómenos a sus causas, y se aceptaba sin duda alguna una concatenación real entre causa y efecto, aunque no se diera una diferenciación estricta entre fenómenos materiales y mentales, entre las actividades mecánicas y las ocultistas. Hasta cierto punto se buscaban las causas entre las analogías y la correspondencia mística de las cosas, imaginando que había estrellas masculinas y femeninas, calientes y frías, y adscribiéndoles afinidades hacia ciertos minerales o ciertas partes del cuerpo humano, de modo que a veces todo el universo se antojaba un mundo de símbolos. Parece que la acción del imán influyó poderosamente en aquellos pensadores y que incluso fue tomada como un ejemplo típico del modo en que las cosas actúan en la naturaleza, de forma que se comenzó una búsqueda de simpatías mágicas y secretas entre los objetos. El hecho de que las plantas tuvieran sexo y el modo en que la luz se difundía por el mundo de la naturaleza tenían, de manera similar, un significado típico o simbólico. Al mismo tiempo, los pensadores englobaron en el campo de su investigación varios fenómenos relacionados con la telepatía, el hipnotismo, etcétera, que han cobrado nuevo interés para nosotros en el siglo XX. Por ejemplo, demostraban cómo, empleando métodos de sugestión, se podía descubrir que un hombre era un ladrón.

Toda esta corriente de pensamiento culminó quizá en Giordano Bruno, quien a finales del siglo XVI elaboró un sistema del universo que a nosotros nos recuerda más al poeta que al científico. Uno de los procesos de la Revolución científica fue el conflicto contra todas estas ideas, y esto es lo que le da un nuevo significado histórico a toda la investigación del universo físico. Parecía como si, tras haber cedido a la aberración inicial, el mundo

no pudiese volver a sanar hasta permitir que el péndulo oscilase hasta el extremo opuesto.

3
EL ESTUDIO DEL CORAZÓN HASTA WILLIAM HARVEY

El Renacimiento, en uno de sus aspectos más importantes, es testigo de la culminación del largo proceso medieval de primero recobrar, después traducir y finalmente asimilar los escritos escolásticos y científicos de la Antigüedad. Este hecho en sí puede que no hubiera añadido ningún nuevo ingrediente a una civilización que tenía un carácter grecorromano, pero el estímulo que produjo fue muy marcado, y junto con el florecimiento de la vida urbana en los estados-ciudad, pareció producir una mayor vivacidad del intelecto. Además de esto, el mundo comenzó a darse cuenta de que Aristóteles no dejó de tener rivales coetáneos, y el hecho de confrontar explicaciones contrarias y sistemas opuestos dio lugar a dilemas importantes, ante los que el hombre tuvo que decidirse por sus propios medios. El descubrimiento del Nuevo Mundo y los primeros conocimientos sobre las regiones tropicales produjeron un aluvión de nuevas informaciones y de literatura descriptiva que, ya de por sí, había de tener un efecto estimulante. La estructura esencial de la ciencia no cambió —la Revolución científica estaba todavía lejos—, pero el Renacimiento tiene quizá más importancia en el campo de la biología que el que, al parecer, tuvo en el de la física. Los medios relacionados con la imprenta, como las xilografías o los grabados en plancha de cobre, pusieron nuevos instrumentos a disposición de los hombres de ciencia. Cuando menos, uno podía tener la seguridad de que los dibujos y los diagramas podían ser copiados y reproducidos con exactitud, y esto, junto con la imprenta propiamente dicha, hizo más fácil la anotación precisa y el intercambio de datos científicos. Vesalio, que tiene una cierta importancia en nuestro relato, está ligado muy notablemente a esta evolución, que resulta patente en su

empleo de ilustraciones y en el carácter naturalista que les dio, tan distinto del convencionalismo de los dibujos medievales.

En cierto modo, el arte italiano del siglo XV podría exigir un capítulo propio en la historia del nacimiento de la ciencia moderna. Los teóricos y los prácticos que insistían en que la pintura constituía una rama del saber no buscaban simplemente darle una posición más destacada en el mundo, y desde Alberti hasta Leonardo da Vinci insistieron, por ejemplo, en la importancia de las matemáticas y hasta las calificaron de requisito principal del artista. Aparte del estudio de la óptica y la perspectiva, de la geometría y la proporción, se daba gran importancia a la anatomía, y en ella el artista podía observar por amor a la observación; podía hacerlo sin ninguna de las preocupaciones del estudiante de medicina en su afán de asimilar toda la teoría galénica del cuerpo humano. El valor particular que se le atribuyó a Masaccio después del primer cuarto del siglo fue haber pintado las figuras con volumen y no ya como objetos planos sobre el lienzo, y por esta razón se dijo de él que había sido el primero en reproducir las cosas tal y como son realmente. En adelante, la escuela florentina de pintura se distinguió por la intensidad con que se concentró en la representación fiel y natural —sobre todo en cuanto a la figura humana—, finalidad que, en cierto modo, se puede considerar casi científica. El taller del orfebre y el estudio del artista parecen haber sido casi precursores del laboratorio moderno; los materiales del artista eran objeto de investigaciones y experimentos. Por otra parte, debió de existir una relación íntima con el artesano, todo ello muy distinto del filósofo que elaboraba teorías científicas sobre su mesa de trabajo. En realidad, parece como si el artista, el artesano y el filósofo formasen un compuesto del que surgió esa nueva figura moderna que es el científico naturalista. En el siglo XV, el artista era con frecuencia un técnico —a menudo un inventor—, un perito en maquinaria, en hidráulica y en fortificaciones. Tanto antes como después de Leonardo da Vinci, un pintor tras otro era nombrado ingeniero militar. Entre los pintores florentinos, en especial entre los más mediocres, parece como si en ocasiones la ciencia predominase sobre el arte (las figuras demostraban en grado excesivo sus conocimientos de la musculatura o su virtuosismo en el manejo de los problemas de la perspectiva). Se ha apuntado que aquellos que se sentían

atraídos por el taller del artista en el siglo XV eran los mismos que, a causa del mismo temperamento, habrían de sentir la atracción del laboratorio de Galileo en el siglo XVII. Sobre todo el arte de la observación empírica tuvo que alcanzar un gran desarrollo. Y los artistas, a pesar de lo mucho que le debían al mundo de la Antigüedad, fueron los primeros en rebelarse contra el servilismo a la autoridad, los primeros en proclamar que cada cual tiene que observar la naturaleza por sí mismo.

Se ha descubierto, con respecto a ciertos autores del siglo XVI, que a pesar de que hablaban de la importancia de ver las cosas con sus propios ojos, seguían sin poder observar un árbol o una escena cualquiera de la naturaleza sin fijarse, precisamente, en aquello que los antiguos les habían enseñado a apreciar. Cuando Maquiavelo pretendía sacar conclusiones de los sucesos políticos de su tiempo, lo que elaboraba eran máximas tomadas de uno u otro de los pensadores clásicos; posiblemente estaba convencido de que lo que decía era una deducción extraída de los hechos que sus sentidos podían observar, pero en realidad no hacía sino seleccionar su información de modo que ilustrase y corroborase las máximas que existían ya en su mente. De la misma manera, el estudiante de historia, al enfrentarse a una colección de datos documentales, lleva en su mente una especie de imán, el cual —si no procede con suma precaución— extraerá de entre todo el material tan solo aquellos datos que confirmen la idea histórica que ya había concebido antes de comenzar la investigación. A finales de la Edad Media, el hombre se percató de que, en última instancia, todo dependía de la observación y la experiencia, de la disección y del experimento, hasta el punto de que podemos encontrar un hombre del siglo XV que pretende estar comunicando el resultado de su propia experiencia y sus experimentos cuando en realidad hoy sabemos que estaba transcribiendo pasajes de la obra de otro escritor. Aun así, aunque la disección se iba generalizando cada vez más, los resultados eran exiguos; los hombres de ciencia no se fijaban más que en aquello que Galeno, el sabio de la Antigüedad, les había dicho que tenían que buscar y anotar.

Aparte de todo esto, parece ser cierto, incluso en la actualidad, que cada vez que se llega a una conclusión en la ciencia o en la historia es normal incorporarla al grupo de los «hechos establecidos», tras lo cual comienza a

ser transcrita de un libro a otro, como si se hubiera llegado ya al fin absoluto de la cuestión y, desde ese momento, la mente pudiera olvidarla. Los estudiantes de historia no comprueban documentalmente cada renglón del relato que manejan, y quien no sea docto en la materia se preguntará si incluso los estudiantes de ciencia investigan auténticamente *ab ovo*, redescubren desde sus principios, por medio de experimentos originales, cada partícula de la ciencia que van almacenando en la mente. Ahora bien, mucha de la labor de disección que se estaba llevando a cabo a comienzos de los tiempos modernos no se parecía en nada a lo que nosotros pudiéramos considerar investigación científica; se trataba más bien de demostraciones hechas ante el auditorio, es decir, no un proceso de descubrimiento, sino una forma de enseñar a ilustrar unos hechos establecidos. Su finalidad intrínseca era inculcar en los estudiantes las verdades que encerraba Galeno, y al parecer, quien ejecutaba la labor mecánica de disecar era un simple auxiliar, mientras que el profesor leía en el libro los pasajes correspondientes. Aquellas pobres criaturas sabían que Galeno había sido un artista mucho más grande en materia de disección de lo que ellos jamás pudieran soñar ser, y sentían un gran orgullo si los resultados obtenidos eran los que aquel indicaba en su obra; algo nada fácil, sobre todo habida cuenta de que Galeno empleaba monos en vez de cuerpos humanos. Cuando, en la figura de Vesalio, emergió una mente de ideas originales en el campo de la anatomía, en el segundo cuarto del siglo XVI, al ver que sus resultados diferían de los de Galeno, hasta él mismo —al igual que los otros— no pudo por menos que dudar en un primer momento de lo que veían sus ojos.

El Renacimiento produjo más traducciones de la obra científica de los griegos —en botánica, por ejemplo—, traducciones hasta del propio Galeno, y ello planteó conflictos respecto a las autoridades del mundo antiguo; por ejemplo, disputas en las universidades entre Aristóteles y Galeno, algunas de las cuales giraban en torno al problema de la función y la actividad del corazón. También se dieron conflictos entre los denominados árabes y los denominados griegos —los primeros estudiaban a Galeno a través de la cultura árabe y los segundos iban directamente a la fuente original—, pero, al parecer, esta controversia no giró para nada en

torno al corazón. Por último, el Renacimiento trajo consigo una insistencia todavía mayor en la observación y llevó la capacidad observadora hasta grados muy avanzados. Quizá no sea fruto del azar que la primera rama de la ciencia que fue transformada gracias a una mejor técnica de observación haya sido la anatomía, la ciencia de los pintores, la que restableció Vesalio, el hombre en quien parecen haber estado fundidas en una sola la mente de un artista y la de un hombre de ciencia.

Incluso en lo tocante a la cuestión del corazón, la influencia de la Antigüedad debe ocupar un lugar propio en el relato de la Revolución científica. El hecho que corona este episodio es la demostración de la circulación de la sangre efectuada por William Harvey, un aristotélico por muchos conceptos, relacionado con la universidad aristotélica de Padua. Al igual que Aristóteles, consideraba que el corazón era el órgano central del cuerpo —su elemento principal—, así que, cuando habla de este tema, alcanza a veces alturas tan líricas que en cierto modo nos hace pensar en Copérnico cuando hablaba del Sol. Galeno daba mayor importancia al hígado, y creía que las venas se reunían en él. La teoría aristotélica llegó a una extravagancia similar, y dijo que hasta los nervios partían del corazón, el cual tenía una especial importancia por ser el centro de las emociones.

Los clásicos habían practicado la disección, y Galeno, aparte de la disección de animales, había estudiado esqueletos humanos y experimentado con seres vivos. Tanto es así que se debe a Galeno que los estudiantes de medicina —en una universidad como la de Padua, por ejemplo— aprendieran a superar a los demás hombres de ciencia en cuanto a su actitud general frente al experimento. No obstante, siempre había habido dos fallos graves en la práctica de la disección corriente. Ante todo, se habían alcanzado muchos resultados concluyentes mediante experimentos efectuados en animales, no en cuerpos humanos, e incluso Vesalio, en la obra que inauguró la anatomía moderna, tuvo que recurrir a animales en vez de a seres humanos para ciertas partes del cuerpo. En segundo lugar —y se trata de un defecto que William Harvey todavía tuvo que señalar en el siglo XVII—, se llegaba a conclusiones erróneas al examinar animales desangrados, en los que las arterias y el ventrículo izquierdo del corazón no podían ser vistos hasta que se habían vaciado de

sangre. Sin embargo, ya Galeno había rechazado la opinión más antigua de que las arterias y el lado izquierdo del corazón no contenían nada más que aire. Al mismo tiempo, creía que la sangre arterial estaba mezclada con una especie de sustancia espirituosa llamada *pneuma*, un principio vital análogo en ciertos aspectos al aire y, en otros, al fuego.

Aun así, Galeno fue el responsable de una herejía muy importante que floreció en el siglo XVI, y con la que terminó personal y definitivamente William Harvey. Sostenía que existía una clase de sangre que, partiendo del hígado, corría por las venas hacia todas las partes del cuerpo para realizar una función meramente nutritiva, mientras que había una segunda clase de sangre, mezclada con espíritus vitales en la forma que ya he indicado, que corría por las arterias para efectuar una función más vivificadora. Hubo que vencer muchos obstáculos hasta que, en el siglo XVII, se llegó a la conclusión moderna de que la sangre sale del corazón por las arterias y retorna por las venas; el propio Galeno lo concebía como una especie de marea que se producía independientemente en las venas y en las arterias. Para comprender las dificultades, será necesario que distingamos entre los diversos procesos que aparecen en las doctrinas primitivas sobre este tema y los puntos clave del sistema que había de ser derrocado. Ante todo, uno de los puntos que implicaba la teoría de Galeno era un paso directo de aire de los pulmones al corazón, donde se suponía que servía para evitar cualquier exceso de aquel calor que, según se creía, el corazón tenía la función de suministrar. En segundo lugar, según la misma teoría, la acción principal del corazón se ejecutaba en la diástole, la dilatación; el proceso principal era la succión de la sangre hacia el corazón, no su expulsión. Por último, siempre según la misma teoría, la sangre venosa era absorbida primeramente por el lado derecho del corazón, pero una parte se difundía a través de la gruesa pared divisoria, denominada septo, hasta el ventrículo izquierdo del corazón, y allí se purificaba y se mezclaba con el espíritu vital, pasando finalmente la nueva mezcla a las arterias gracias a su propio impulso. El punto central de todo el sistema —la parte mecánicamente esencial del esquema— era el paso de la sangre a través de la pared divisoria, del septo, hasta el ventrículo izquierdo, desde donde seguía su curso hacia las arterias.

Nos encontramos ante un sistema de errores complejo respecto del cual hay que indicar que la doctrina era no solamente errónea en sí misma, sino que, hasta que fue corregida, representó una muralla infranqueable para todo adelanto fisiológico, ya que ninguna otra opinión podía ser cierta. Se trata de otro de esos casos del que podemos decir que, una vez que se rectificó este error, dejó abierto el camino a una poderosa corriente de nuevos descubrimientos en todo el ámbito de la ciencia.

Ahora bien, un médico árabe del siglo XIII negaba que existiesen aberturas visibles ni poros invisibles en el septo del corazón que permitiesen el paso de la sangre desde un lado hasta el otro. Sostenía que la sangre no podía pasar desde el ventrículo derecho hasta el izquierdo más que a través de los pulmones. En 1547 se publicó una traducción latina de su obra, pero en esta no se mencionaban sus ideas respecto a este punto, de modo que los descubrimientos llevados a cabo en Italia después de dicha fecha tienen que ser considerados parte de un movimiento independiente. A finales de la Edad Media hubo un estudiante de anatomía en Europa occidental que había dicho que era muy difícil encontrar los canales del septo. Hasta Leonardo da Vinci cayó en el error de creer que la sangre atravesaba este último, aunque es posible que abrigase algunas dudas sobre ello al final de su vida. Después de él, encontramos cuando menos un autor, el propio Vesalio, según el cual el poder de Dios queda patente al hacer posible el paso de la sangre a través de la evidente compactibilidad del septo. De hecho, fue el mismo Vesalio quien por primera vez expresó dudas sobre las enseñanzas galénicas acerca del septo, si bien hay que hacer notar que, aunque corrige a Galeno, después de muchas dudas respecto a esta cuestión especial sigue sin percatarse de la necesidad de revisar totalmente el concepto del movimiento de la sangre.

El año 1543, cuando se publicaron la gran obra de Copérnico y la importante traducción de Arquímedes, constituye una fecha de considerable relevancia en la Revolución científica, porque también vio la luz la obra magna de Vesalio, *De fabrica*, el libro que ha quedado como cimiento de la anatomía moderna. Vesalio había comenzado su vida como un admirador ferviente de Galeno, pero parece que a partir de 1538 empezó a albergar cada vez más dudas; era un verdadero descubridor que ejecutaba él mismo

las disecciones, inventó nuevos instrumentos para ello o los adoptó de los que se utilizaban en otras actividades e ideó nuevas técnicas, por ejemplo, en la forma de montar un esqueleto. No obstante, no debemos creer que, por dudar del paso de la sangre a través del septo del corazón, hiciera que esa idea falsa desapareciese del mundo del saber, sobre todo si tenemos en cuenta la forma cautelosa y timorata en que expresa sus dudas en la primera edición de 1543, en la que, según confiesa más tarde, procuró deliberadamente que los resultados por él obtenidos concordasen con las enseñanzas galénicas. Los resultados que obtuvo, sus métodos de trabajo y, como hemos visto, sus ilustraciones hacen que figure como un pasaje clave de nuestra narración a pesar de cuanto conservase de la mentalidad antigua, y fue una desgracia que abandonase la investigación, antes de los cuarenta años, para hacerse médico, primero del ejército y más tarde de la corte del emperador Carlos V. A pesar de su reconocido genio, no se dio cuenta de que en aquel momento se necesitaba un nuevo estudio de los movimientos del corazón y de la sangre; en líneas generales, siguió afecto al sistema galénico en aquellos puntos.

Aquel fue el primer paso hacia la obra de William Harvey, y en la siguiente fase del debate se abordó otro problema, el del papel que desempeñan los pulmones en el sistema y en el movimiento de la sangre. Leonardo da Vinci había criticado la opinión antigua de que pasase aire de los pulmones al corazón; decía que lo había intentado por medio de una bomba y que no era posible hacer penetrar aire por aquel camino. Colombo, el sucesor de Vesalio en la Universidad de Padua, fue quien, en una obra publicada en 1559, describió correctamente lo que se denomina «ciclo menor», el paso de la sangre desde el lado derecho del corazón a los pulmones y, desde allí, al ventrículo izquierdo del corazón. Aparte de este detalle aislado, Colombo siguió fiel a la doctrina galénica —a saber, que la sangre fluía hacia las partes exteriores del cuerpo, no solo a través de las arterias, sino también de las venas—; en otras palabras, Colombo no sospechaba lo que era el ciclo circulatorio mayor. Antes de esto, el famoso hereje Miguel Servet había publicado, en 1553, su *Christianismi restitutio*, obra que fue casi totalmente destruida, ya que era ofensiva en igual medida para las iglesias católica, luterana y calvinista; en ella ya había descrito el

paso de la sangre desde el corazón hasta los pulmones y su retorno al ventrículo izquierdo del corazón. Como algunas veces se comunicaban las doctrinas y se escribían los tratados años antes de su publicación, los historiadores no están de acuerdo en si el descubrimiento de Servet antecedió realmente al de Padua, y también se desconoce si hubo intercambio de ideas entre ellos.

Cesalpino, otro autor italiano, es interesante, y en ocasiones los italianos le conceden todo el mérito del descubrimiento de la circulación de la sangre; si se pudiera demostrar esta afirmación se habría adelantado en muchos años a William Harvey, porque se dice que llegó a sus conclusiones en 1593 y que las publicó en un libro editado póstumamente en 1606. Era un gran discípulo de Aristóteles, e ideó muchos argumentos sugestivos en defensa del sistema aristotélico y en contra del de Galeno. No obstante, aunque habló de algo similar a una circulación general de la sangre e incluso llegó a ver el paso de esta desde las arterias hasta las venas por sus extremos, no está claro si se percató del flujo normal de toda la sangre de las unas a las otras, y aunque vio que la sangre se movía en las venas en dirección al corazón, no se dio cuenta de la importancia de su descubrimiento. Lo que es completamente seguro es que no demostró la circulación sanguínea como lo habría de hacer Harvey ni lo reunió todo en una síntesis sólida. Es una desdicha que las discusiones en torno a Cesalpino se hayan centrado en esta única faceta de su obra, ya que ello ha impedido que se descubriesen en sus escritos muchos otros aspectos de interés.

Por aquellas fechas se había dado otro gran paso adelante hacia el descubrimiento de la circulación de la sangre en los estudios de Fabricius, el cual publicó en 1574 una obra en la que describía ciertas válvulas presentes en las venas. Aunque posiblemente no fuera el primero en descubrirlas, identificarlas fue de la máxima importancia porque permitió darse cuenta de que las válvulas actuaban para evitar únicamente el paso del fluido sanguíneo desde el corazón hacia las venas; por ejemplo, su paso hacia las manos y los pies por ese camino. Siendo así, se hubiera podido esperar que Fabricius se percatara de que su paso normal sucedía en dirección opuesta —hacia el interior, hacia el corazón— y de que, por tanto,

la sangre que estaba en las venas se hallaba en su camino de regreso. Sin embargo, la mente de Fabricius estaba tan embotada por las enseñanzas galénicas que no pudo caer en la cuenta del corolario obligado de su descubrimiento, sino que dio una explicación que dejaba el asunto en el mismo punto exacto en que se encontraba. Dijo que las válvulas no servían más que para controlar y regular el flujo sanguíneo, a fin de que no corriese demasiada sangre hacia las manos y los pies y se acumulase allí en exceso, arrastrada en cierto modo por su propio peso. Fabricius era un conservador en muchos otros aspectos; por ejemplo, seguía convencido de que el aire pasaba directamente de los pulmones al corazón. Cuando se acabó demostrando que la sangre pasaba a los pulmones precisamente por ese camino, fue todavía necesario que William Harvey hiciese notar que no era posible que aquellos dos movimientos ocurriesen en sentidos opuestos por un único canal. Por tanto, hasta el siglo XVII existió una curiosa rigidez mental que impidió que incluso los investigadores de primera línea percibiesen las verdades esenciales concernientes a la circulación de la sangre, aunque podemos decir con pleno derecho que contaban ya con pruebas muy significativas de lo que sucedía en realidad.

No podemos darnos verdadera cuenta de la grandiosidad de William Harvey y de su obra más que conociendo las dificultades y los obstáculos que existían en el siglo XVI y siguiendo de cerca los primeros pasos y las equivocaciones cometidas durante los lentísimos adelantos que se produjeron. Ya a principios del siglo XVII, William Harvey transformó para siempre el aspecto de la cuestión por medio de unas cuantas pinceladas maestras y estratégicas. Francis Bacon dijo que algunos descubrimientos científicos parecen ridículamente sencillos una vez hechos. Rememoró ciertas proposiciones de Euclides que parecían increíbles la primera vez que alguien las oía, pero tan sencillas una vez demostradas que le daban a uno la sensación de que las había sabido siempre. Nosotros, que estamos observando los sucesos desde el envés de la gran transición —invirtiendo la historia porque conocemos la respuesta de antemano—, sentimos la tentación de considerar necios a los antecesores de Harvey e, *ipso facto*, de rebajar el mérito del descubrimiento que hizo. Sin embargo, una vez más tenemos que sorprendernos de la falta de flexibilidad, de la lentitud con la

que cambia la mente humana sus puntos de vista a pesar de ir acumulando constantemente nuevos datos. Los predecesores de Harvey habían observado por medio de cortes y ligaduras que la sangre fluía por las venas hacia el corazón (no hacia las partes externas del cuerpo, como daba por sentado su teoría). Pero estaban dominados de tal forma por Galeno que decían que la sangre no se comportaba con normalidad cuando se sentía torturada por los experimentos y que se escapaba en la dirección opuesta, al igual que una gallina asustada.

Antes de abordar el descubrimiento de Harvey, podemos señalar que durante algunos años estuvo en la Universidad de Padua, donde habían trabajado los principales entre sus predecesores, Vesalio, Colombo y Fabricius. No es posible cerrar los ojos ante el hecho de que todo este capítulo de la historia del estudio del corazón es, en primer lugar, la gloria de aquella universidad. La honra que le cabe a Italia por este motivo es mayor que toda la que sus patrióticos historiadores podrían procurarle si pudiesen demostrar el derecho de Cesalpino al descubrimiento. Desde el principio hasta el fin, todo lo que describimos va ligado a la Universidad de Padua, y a ella se debería dirigir la atención del historiador. Además, tanto Copérnico como Galileo estuvieron en aquella universidad en momentos cruciales de la vida, y aparte del esplendor de estos grandes nombres, en ella se formaron corrientes filosóficas que justificarían la opinión de que si algún lugar preciso tuviera derecho a reclamar el honor de ser la cuna de la Revolución científica, no cabe duda de que ese honor le correspondería a Padua. La poderosa corriente que nació del escolasticismo del París del siglo XIV pasó en buena medida a las universidades del norte de Italia, y fue allí donde, en el siglo XVI, se desarrolló la doctrina del ímpetu, en unos momentos durante los que la tradición y los intereses del propio París estaban abandonando aquella rama del estudio. Para los humanistas del Renacimiento, Padua era un objeto de la máxima comicidad por ser la plaza fuerte del aristotelismo, y una de las paradojas de la Revolución científica es que en ella desempeñase un papel tan importante una universidad de tradición marcadamente aristotélica y donde, durante siglos, se había adorado al gran filósofo. No obstante, Padua tenía ciertas ventajas: era una universidad en la que se estudiaba a Aristóteles, principalmente, como

introducción a un curso de medicina; y es que allí la medicina era la reina de las ciencias, no la teología, como sucedía en París. Como he dicho más arriba, Galeno había inculcado a los estudiantes de medicina un gran respeto no solo por la observación, también por el experimento práctico, y no solo eso, sino que sus escritos habían producido en Padua un impulso hacia la discusión consciente del método experimental. Además, las ciudades italianas de aquellos tiempos se habían secularizado notablemente, y en Padua ello se venía notando mucho desde hacía ya tiempo —se notaba incluso en el pensamiento político, como lo evidencia la obra de Marsilio —. La interpretación de Aristóteles en la universidad se interesaba de manera casi exclusiva por sus escritos sobre el universo físico, y el estudio se llevaba a cabo desde hacía tiempo en colaboración con la propia Facultad de Medicina. Mientras que los filósofos escolásticos habían asimilado a Aristóteles dentro de su síntesis cristiana, los paduanos lo estudiaron de una forma mucho más secular, mirando mucho más al Aristóteles original, desnudo; es decir, sin sus vestiduras cristianas. O, más bien, quizá debiéramos recordar que los paduanos eran proclives a adoptar aquella actitud porque era una universidad averroísta (que veía a Aristóteles a la luz de su comentador árabe Averroes). Padua cayó bajo el poder de Venecia en 1404, y este era el Estado que con mayor éxito se mantenía apartado del clero en toda Europa, tanto en aquellos tiempos como muchos años más tarde. La libertad de pensamiento de que gozaba Padua atraía a la gente más capacitada, no solo de toda Italia sino también del resto de Europa; el propio William Harvey es un ejemplo de ello. En el primer volumen del *Journal of the History of Ideas* aparece un artículo de J. H. Randall en el que se dice que hemos exagerado la importancia del nuevo pensamiento renacentista —sobre todo el culto de las ideas platónico-pitagóricas— en la Revolución científica. Existe una continuidad más marcada de la historia entre los siglos XV y XVII en la discusión consciente del método científico en la Universidad de Padua, y una vez más tenemos que darnos cuenta de la forma en que Aristóteles fue destronado por el mero hecho de seguir lógicamente el proceso del estudio de su obra. Se ha dicho que las discusiones sobre metodología científica sostenidas en el siglo XV en la Universidad de Padua atacaban el enfoque puramente cuantitativo —en

oposición al método cualitativo de los antiguos—, que en el siglo XVI los paduanos estaban dudando de la opinión antigua del movimiento natural; por ejemplo, en el caso de los graves, como consecuencia de una tendencia inherente de aquellos cuerpos: comenzaban a preguntarse si no se trataría quizá de una fuerza que actuaba sobre ellos. En las postrimerías del siglo XVI se estaban preguntando si las causas finales deberían ocupar o no un lugar en la historia natural. Tenían opiniones extraordinariamente claras sobre la metodología científica, y Galileo, que llegó a esa universidad justamente después de que se hubiesen desarrollado algunas de las controversias más importantes sobre este tema, heredó algunas de aquellas conclusiones metodológicas y empleó la misma terminología al discutirlas. No obstante, donde lograron sus mayores triunfos, no solo como universidad sino en cuanto resultado de un ciclo ideológico, fue en anatomía, y el que William Harvey fuera iniciado en aquel ciclo de ideas tuvo una importancia fundamental, porque una de las características más notables de su obra fue no solo su destreza en la disección o su agudeza de observación, sino también su técnica experimental. Todavía en 1670 encontramos una obra inglesa que describe a la de Padua como «la universidad que impera en la física sobre todas las demás del mundo».

William Harvey continuó y desarrolló no solo la disección y las observaciones, sino también el tipo de experimentos que se veían en la Padua del siglo XVI. Afirmó que aprendía anatomía, y la enseñaba, «no en los libros sino en la disección», y combinó los resultados así obtenidos con sus observaciones clínicas y con experimentos ingeniosos. Lo que es muy notable en él es el carácter amplio y sistemático del conjunto de su obra investigadora, no solo por abarcar tantas de las operaciones y tanto de la topografía del ciclo circulatorio, sino también el método comparativo tan sistemáticamente aplicado a una variedad tan grande de seres vivos. Después de haber oído tanto sobre los errores que se habían cometido al disecar monos y otros animales en lugar de seres humanos, es curioso oír cómo se quejaba ahora Harvey de que, con demasiada frecuencia, la disección se limitaba en aquellos tiempos al cuerpo humano y de que no se prestaba atención suficiente al método comparativo. Su obra tiene un sabor extraordinariamente moderno debido al indudable carácter mecánico de

gran parte de su investigación y sus argumentos, a la importancia que daba a las consideraciones meramente cuantitativas y al valor definitivo y absoluto que tenía para él un razonamiento aritmético. Es interesante oírle hablar del corazón como de «una pieza mecánica en la cual, aunque una rueda transmite el movimiento a la contigua, todas ellas parecen moverse simultáneamente». Cuando examinaba cualquier detalle anatómico, no pretendía deducir enseguida su función por la impresión que su forma y su estructura le causaban, sino que, en cuanto comenzaba a perfilarse una hipótesis, trataba de encontrar el experimento que le demostrase mecánicamente que la idea concebida era correcta. Por último, aunque su libro parece carecer de orden alguno, da una imagen fiel de los métodos empleados en los diversos puntos de la discusión y es notable como archivo muy completo de los experimentos efectuados.

Parece que fueron las válvulas las que suscitaron las primeras dudas de Harvey, quizá las de entrada y salida del propio corazón, aunque muy pronto comenzó a ocuparse de las válvulas de las venas que había descrito su maestro Fabricius, y que al parecer él mismo consideraba que habían sido el estímulo que le había empujado a investigar. Su libro *De motu cordis* fue publicado en 1628, pero él mismo escribió que «durante más de nueve años» había estado confirmando su teoría «con múltiples demostraciones». Tenía que combatir todavía las antiguas herejías, y cometeríamos un error si creyésemos que los descubrimientos hechos por sus precursores paduanos, de los que hemos hablado, eran ya del dominio público. Ataca la idea de que las arterias absorben aire y cree necesario hacer notar que hasta el propio Galeno había demostrado que no contenían nada más que sangre. Se da cuenta de que, cuando son cortadas o reciben una herida, no absorben ni expelen aire en la forma en que lo hace el conducto respiratorio en el mismo caso. Todavía se preocupa de combatir la idea de que la sangre atraviesa el septo del corazón; ese septo, dice, tiene «una estructura más densa y más compacta que cualquier otra parte del mismo cuerpo». Si la sangre se filtrase a través de él, ¿para qué necesitaría tener un sistema propio de irrigación por medio de las venas y de las arterias coronarias, al igual que el resto de la estructura cardíaca? Además, ¿cómo podía extraer sangre el ventrículo izquierdo del derecho si ambos se contraían y se

dilataban simultáneamente? Asimismo, atacó la discutida cuestión de los pulmones: preguntaba por qué debía suponerse que algo que tiene la misma estructura que un vaso sanguíneo importante servía para llevar aire desde los pulmones al corazón, mientras que, por otra parte, se decía que la propia sangre se veía obligada a atravesar con tantos trabajos el sólido septo del corazón. Sacó deducciones de la estructura de los vasos, hizo experimentos para investigar en qué sentido circulaba por ellos la sangre y dedujo que, debido a sus dimensiones, no debían de servir solamente para llevar la sangre necesaria para el alimento particular de los pulmones, sino también para transportar toda la sangre a través de los pulmones con el fin de refrescarla, puesto que desconocía el proceso de oxigenación que en realidad ocurre. Además, empleó el método comparativo, demostrando que los animales que no tenían pulmones carecían de ventrículo derecho en el corazón (lo cual confirmaba su idea de que dicho ventrículo estaba ligado al tránsito de la sangre por el pulmón). Consiguió demostrar que, en el embrión, la sangre recorría un camino más corto desde el ventrículo derecho al izquierdo del corazón, camino que cesaba en sus funciones en cuanto comenzaban a trabajar los pulmones. Después investigó la estructura fibrosa del corazón y demostró que, al contrario que la opinión generalmente aceptada hasta entonces, su verdadera actividad consistía en la contracción y la constricción; es decir, en la sístole, cuando expulsaba la sangre, y no en la diástole, al absorberla, como se creía. Su descripción de la estructura y de la acción del corazón puede ser considerada una maravillosa obra de arte.

Harvey demostró que las opiniones existentes a este respecto no eran verosímiles ni demostrables; con todo, aunque sus métodos comparativos eran notables, no fue en el campo experimental donde demostró su mayor originalidad, puesto que al parecer se disponía ya de medios que él nunca empleó. La revolución que impulsó fue como la que hemos visto en el campo de la mecánica o la que Lavoisier habría de desencadenar en la química; fue fruto de la capacidad de contemplar todo el objeto dentro de una nueva estructura y de volver a plantear los términos del problema de una forma que lo volvía manejable. De hecho, se debió a una especie de sentido de la estrategia que permitió a su mente fijarse en el punto de

importancia vital. El argumento final de Harvey es una sencilla operación aritmética basada en su cálculo —un cálculo muy rudimentario y muy erróneo— de la cantidad de sangre que el corazón manda a través del cuerpo. No importaba que dicho cálculo fuera solo aproximado; sabía que la conclusión a que había llegado tenía que ser cierta, incluso admitiendo el mayor grado de error que nadie pudiera imputarle. La respuesta estaba clara para todo el que tuviese el menor sentido para la mecánica y pudiera fijar su atención en ello, e hizo que el resto de su argumentación no fuera sino una confirmación más.

Con respecto a la capacidad del corazón, nos ofrece unas frases que son esclarecedoras:

> Lo que queda por decir respecto a la cantidad y la procedencia de la sangre que así circula es de carácter tan novedoso y tan inaudito que no solo temo ser atacado por los pocos que me envidian, sino que tiemblo por temor de que toda la humanidad se transforme en mi enemiga; hasta tal grado llegan a ser una segunda naturaleza el hábito y la costumbre.

Harvey encontró que en el transcurso de una hora el corazón expulsaba más sangre que el peso total del hombre, mucha más que la que podría ser creada en el mismo periodo por cualquier alimentación ingerida. No era posible decir de dónde salía toda aquella sangre y adónde iba a parar si no se adoptaba la hipótesis de que circulaba por todo el cuerpo una y otra vez, continuamente. Harvey siguió la circulación desde el ventrículo izquierdo del corazón y por todo el cuerpo, demostrando cómo ello explicaba la posición de las válvulas cardíacas, y aclaró la estructura más resistente de las arterias, sobre todo en las proximidades del corazón, donde tenían que ser capaces de soportar el impacto de cada sístole. Con ello consiguió demostrar por qué se observaba tantas veces en los cadáveres que las arterias estaban vacías de sangre mientras que las venas estaban llenas, y pudo dar una justificación más verosímil a la presencia de las válvulas en las venas, que permitían el paso en dirección al corazón pero impedían el retorno de la sangre hacia las partes más alejadas. El único eslabón de la cadena, el único detalle de la función circulatoria, que no llegó a encontrar fue el paso de la sangre desde las últimas ramificaciones de las arterias hasta los extremos de las venas. Solo era posible descubrir la conexión con

la ayuda del microscopio, y lo hizo Malpighi en 1661, cuando anunció que había identificado los denominados «capilares» en los pulmones casi transparentes de una rana.

Al parecer, la teoría de Harvey tardó de treinta a cincuenta años en ser aceptada, aunque sus argumentos nos parecen hoy quizá más lógicos que los de cualquier otro tratado que hubiera sido escrito hasta entonces; así, aunque era partidario de algunas de las opiniones especulativas y poco satisfactorias que eran corrientes en aquel tiempo —como la creencia en los espíritus vitales—, nunca hizo depender de ellas sus argumentos, y su tesis era mecánicamente tan satisfactoria en sí misma que ayudó a que en el futuro fuesen innecesarios y absurdos. Descartes acogió muy bien la idea de la circulación de la sangre; sin embargo, al parecer ello se debía a que comprendió mal un detalle, y discrepaba de Harvey en cuanto a la acción o función del corazón mismo. Aun así, lo más importante de todo es que, al quedar establecida la circulación de la sangre, la fisiología se pudo lanzar a nuevos descubrimientos en el estudio de los seres vivos. Tan solo en ese momento podía comenzar a comprenderse la respiración, e incluso la digestión y otras funciones. Una vez determinada la circulación de la sangre por las arterias y su retorno por las venas, era posible preguntarse qué es lo que la sangre «lleva y por qué, cómo y dónde recibe su carga y cómo, dónde y por qué la deja». Por tanto, en cuanto a métodos y resultados, parece como si por fin nos hubiésemos encontrado con la verdadera Revolución científica.

4
EL OCASO DE ARISTÓTELES Y PTOLOMEO

Como el punto crucial en la gran controversia acerca del sistema ptolemaico parece no haber sido nunca tratado orgánicamente, y pocas veces o ninguna ha sido considerado en su totalidad, es necesario que reunamos una relación continua de los hechos a fin de poder estudiar la transición en conjunto. Para quien se interese por la Revolución científica en general, debería ser importante una visión general, a vista de pájaro, del campo, en particular porque las batallas van aumentando en ferocidad y fragor y alcanzan su máxima intensidad en esta parte de la campaña.

Sería un error imaginar que la publicación de la gran obra de Copérnico en 1543 hizo que el pensamiento europeo se tambalease al primer empuje hasta los cimientos o bastó para conseguir nada similar a una Revolución científica. Se precisarían casi ciento cincuenta años hasta que se produjese una combinación satisfactoria de ideas —un sistema convincente del universo— que permitiera una explicación del movimiento de la Tierra y del resto de los planetas, y que constituyese una estructura sobre la que se pudieran apoyar nuevos descubrimientos y teorías. Por el contrario, no fue hasta una generación después de la muerte de Copérnico —tan solo hacia finales del siglo XVI— cuando comenzó realmente el periodo de transición fundamental y se agudizó verdaderamente el conflicto latente. Y cuando comenzaron las grandes perturbaciones fueron resultado de consideraciones de carácter muy distinto, fruto de sucesos que habrían producido perturbaciones del cosmos casi tan considerables, aunque Copérnico no hubiera escrito jamás su obra revolucionaria. En efecto, aunque la influencia de Copérnico hubiera sido tan importante como la gente suele imaginar, no lo fue tanto por el resultado del éxito obtenido por su nuevo

sistema celeste, sino por el estímulo que produjo en hombres que en realidad estaban elaborando algo muy distinto.

Cuando la obra de Copérnico fue publicada por primera vez dio lugar a objeciones religiosas, sobre todo relacionadas con la Biblia, y como los protestantes eran los que más se inclinaban hacia lo que se denominaba «bibliolatría», muy pronto elevaron protestas condenatorias; por ejemplo, Lutero y Melanchthon personalmente. Podríamos sospechar que un prejuicio inconsciente fue el culpable parcial de aquello y que la concepción aristotélica del universo se había identificado más con el cristianismo de lo que era necesario, porque el Antiguo Testamento hablaba de que Dios había creado la Tierra de modo duradero, pero las palabras permitían interpretaciones diversas y elásticas, y en siglos anteriores la exégesis bíblica había vencido obstáculos más graves que este. Además, aunque no fuera así, si bien el Antiguo Testamento no cuadraba con las ideas de Copérnico, tampoco lo hacía con las de Ptolomeo. Y desbarata en cierto modo las ideas de Aristóteles y su inmaculada quintaesencia cuando dice que los cielos envejecerán como un vestido y, hablando de Dios, que las estrellas y hasta los mismos cielos no son puros a sus ojos. Los protestantes siguieron durante mucho tiempo con su prejuicio, y cuando hace unos años el Comité de Historia de la Ciencia, de Cambridge, celebró en la Senate House el tricentenario de la visita a Inglaterra del gran educador checo Comenio o Komenský, los numerosos discursos pasaron por alto el hecho de que era un enemigo de Copérnico y de que sus libros de texto, reimpresos en ediciones sucesivas a lo largo de todo el siglo XVII, ejercieron una influencia poderosa en el mundo protestante, en el lado equivocado de la disputa. Por otra parte, Copérnico era canónigo de la Iglesia católica, y altos dignatarios de la Iglesia estaban relacionados con la edición de su libro. La forma relativamente tranquila en que se recibió la nueva teoría por esta parte ha hecho que recientemente se haya expresado la idea de que los católicos eran de comprensión lenta y precisaron casi cincuenta años para darse cuenta de que Copérnico tenía que llevarnos por fuerza hasta Voltaire. Pero la verdad, como se ha dicho, es que la cuestión del movimiento de la Tierra no llegó a constituir un verdadero conflicto hasta finales del siglo

XVII. Para entonces, y por razones del todo distintas, las propias dificultades de carácter religioso comenzaban a mostrarse más seriamente que antes.

Aunque Copérnico no había dicho que el universo fuese infinito —y había señalado que aquella era una cuestión que correspondía al filósofo—, se había visto obligado, por motivos que tendremos que estudiar más adelante, a situar las estrellas fijas a una distancia que denominaba «inconmensurable». Ello muy pronto fue interpretado —lo hicieron sobre todo algunos seguidores suyos en Inglaterra— como si se hubiera declarado partidario de un universo infinito, y a no ser que tuvieran alguna objeción de tipo no religioso, los cristianos no podían ver nada malo en ello, o declararlo imposible, sin restar algo al poder y a la gloria de Dios. Sin embargo, y por desgracia, aquel *enfant terrible* entre los especuladores italianos del siglo XVI que era Giordano Bruno fue más lejos y habló incluso de la existencia real de una pluralidad de mundos. Entonces se planteó más seriamente que nunca la siguiente cuestión: ¿precisaban la redención los seres humanos de los otros mundos?; ¿habría habido tantas apariciones de Cristo, tantas encarnaciones y tantas expiaciones a lo largo y ancho de aquel universo infinito? Aquel problema era mucho más delicado que la cuestión puramente bíblica de la que hemos hablado antes, y las especulaciones desenfrenadas de Bruno, a quien la Inquisición quemó en 1600 por una serie de herejías, constituyeron un factor más para que se intensificaran los temores religiosos ante el problema del sistema de Copérnico.

Aparte de todo esto, es notable constatar desde cuántos puntos de vista y en cuántas formas nos encontramos con la tesis que aparece también con frecuencia en los escritos del propio Galileo; a saber, la aserción de que es absurdo suponer que la totalidad de este universo nuevo y colosal hubiese sido creado por Dios simplemente para bien del hombre, para servir a los fines de la Tierra. El conjunto parecía extravagante ahora que se veían las cosas en sus verdaderas proporciones y que el objeto se había transformado en algo tan insignificante. En este estadio final, la resistencia a las ideas de Copérnico era causa común de las iglesias católica y protestante, aunque parece que en Inglaterra fue menos aguda que en la mayoría de los otros países. El astrónomo protestante Kepler, perseguido por la Facultad Protestante de Tubinga, buscó refugio entre los jesuitas en 1596. Tanto

aquel como el católico Galileo se aventuraron en el campo de la teología al dirigirse a sus correligionarios e intentar demostrarles que el sistema de Copérnico era compatible con una interpretación correcta de las Escrituras. Galileo empleó brillantemente a san Agustín, y durante algún tiempo recibió más apoyo de los altos círculos eclesiásticos de Roma que de sus colegas aristotélicos de la Universidad de Padua. Por último, fue el protestantismo el que, por razones en parte técnicas, tuvo la flexibilidad suficiente para aliarse con los movimientos científicos y racionalistas. A su vez, este proceso alteró profundamente el carácter del protestantismo a partir de los últimos años del siglo XVII y lo transformó en el movimiento más liberal de los tiempos modernos.

La oposición religiosa no habría cobrado gran importancia si no hubiera encontrado cierto apoyo en razones de orden científico y, en parte, en el tradicionalismo de los propios hombres de ciencia. Se ha hecho observar que, hasta cierto punto, los que más dispuestos estaban a aceptar innovaciones en este campo, en el siglo XVI, eran los astrólogos. Aparte de las dificultades que podían encontrar en toda la nueva síntesis ofrecida por Copérnico —y que, como ya hemos visto, exigía una confianza casi supersticiosa en las virtudes de los círculos y en el comportamiento de las esferas por razón de su ser—, había que plantear ciertas objeciones de carácter claramente físico al movimiento de la Tierra, tanto en el de Copérnico como en cualquier otro sistema imaginable. Como ya sabemos, el polaco había tratado de responder una a una a todas las objeciones, pero se comprenderá fácilmente que sus respuestas, que también conocemos, no podían bastar para alejar su hipótesis de toda posible controversia.

El propio Copérnico se había dado cuenta de que su sistema era atacable desde un punto de vista que no hemos mencionado hasta ahora. Si la Tierra se movía alrededor del Sol en una órbita colosal, las estrellas fijas deberían mostrar un ligerísimo cambio de posición al ser observadas desde extremos opuestos de la órbita. Existe, en efecto, ese cambio, pero es tan sumamente pequeño que hasta tres siglos después de Copérnico no pudo ser observado; de modo que Copérnico tenía que explicar lo que entonces parecía ser una discrepancia situando las estrellas fijas a tanta distancia de la órbita terrestre que su diámetro, en comparación con ella, apareciese como un punto

geométrico. Si la teoría de Ptolomeo había forzado la credulidad hasta el límite, haciendo que las estrellas fijas se moviesen a una velocidad tan enorme en su camino diario, Copérnico lo hizo con lo que en aquellos días parecía una extravagancia equiparable: colocó las estrellas fijas a una distancia que los hombres de entonces consideraban fabulosa. Hasta le quitó al sistema parte de su economía y de su simetría, ya que, con arreglo a la bella distribución en que había situado al Sol y a los distintos planetas, se vio obligado a colocar un vacío inmenso entre el último de los planetas, Saturno, y las estrellas fijas. La situación era incluso más paradójica. Cuando Galileo empleó por primera vez un telescopio, una de sus primeras sorpresas fue ver que las estrellas fijas parecían, vistas a través del instrumento, más pequeñas que a simple vista; como dijo, no parecían más que meros puntitos de luz. Debido a la difracción, las estrellas fijas parecen ser más grandes de lo que en realidad deberían aparecer a simple vista, y Copérnico, que vivió antes de que se aclarase esa ilusión óptica, tenía por fuerza que albergar serias dudas por este motivo. Incluso antes de su época, algunas de las estrellas fijas habían parecido ser increíblemente grandes cuando se intentó calcular su tamaño en función de su magnitud aparente. Al situarlas él a una distancia infinitamente mayor del observador —mientras, como es natural, su magnitud aparente seguía siendo la misma para el observador terrestre—, hizo necesario que tuviesen que ser consideradas de un tamaño mucho mayor y motivó una incredulidad que es muy comprensible.

Además de esto, se presentaba la famosa objeción de que, si el mundo se movía rápidamente de oeste a este, en caso de dejar caer una piedra desde lo alto de una torre tendría que quedar rezagada; es decir, tendría que caer marcadamente hacia el oeste de la torre. El famoso astrónomo danés Tycho Brahe se tomó en serio este argumento, por muy absurdo que nos parezca a nosotros, y añadió que una bala de cañón tendría que alcanzar mucho más lejos en una dirección que en la otra si se suponía que la Tierra se movía. Esa nueva versión tenía un sabor a novedad que la puso de moda en el periodo que siguió.

Entretanto habían estado sucediendo otras cosas notables, y de resultas de ello se fue viendo que habrían de introducirse grandes modificaciones en

la astronomía y que las teorías más antiguas no eran viables, tanto si la de Copérnico era cierta como si resultaba falsa. Uno de estos sucesos fue la aparición de una nueva estrella en 1572, de la cual dice un historiador, y creo que con razón, que constituyó una conmoción más fuerte para los europeos que la publicación de las propias teorías de Copérnico. Se dice que aquella estrella era más brillante que el propio Venus —se veía a veces hasta de día— y que brilló durante todo el año 1573, para desaparecer a principios de 1574. Si se trataba de una nueva estrella, contradecía la idea antigua de que los sublimes cielos no conocían cambios, ni nuevas generaciones, ni la descomposición, y la gente incluso recordó que Dios había descansado al séptimo día de la Creación. Se intentó demostrar que la estrella se hallaba en la región sublunar, e incluso Galileo se vio obligado más adelante a declarar nulas las observaciones poco fidedignas que habían sido seleccionadas de entre todos los datos obtenidos para corroborar esta hipótesis. Después de todo, lo único que había hecho Copérnico había sido ofrecer una posible nueva teoría de los cielos, de la que decía que era superior a la antigua. Pero ahora los hombres de ciencia se estaban encontrando ante hechos innegables que les obligarían, antes o después, a rectificar sus ideas.

En 1577 apareció un nuevo cometa, y hasta algunos de los que no creían en las teorías de Copérnico tuvieron que admitir que pertenecía a los cielos superiores, no a la región sublunar (las observaciones más exactas que se efectuaban por entonces habían alterado la situación con respecto a la posición de los cometas). Como aquel describía una trayectoria que atravesaba por completo lo que se creía que era el cristal impenetrable de las esferas que formaban los cielos, reforzó la opinión de que en realidad estas no existían como parte de la maquinaria celeste. Tycho Brahe, a pesar de lo conservador que era en otros aspectos, afirmó que a partir de aquel momento dejó de creer en la realidad de las esferas. En el último cuarto del siglo XVI, Giordano Bruno, de quien ya hemos hablado, supuso que los planetas y las estrellas flotaban en un espacio vacío, aunque, si era así, resultaba más difícil que nunca decir por qué se movían y cómo hacían para mantenerse en sus órbitas. Tampoco podía ya seguir en pie la teoría de Aristóteles, según la cual los cometas no eran sino exhalaciones de la Tierra

que se inflamaban en la esfera del fuego, todo ello en el espacio sublunar. Y todos los que no querían darse de bruces con la evidencia de los hechos comenzaron a modificar detalles de la teoría aristotélica: uno decía que los cielos superiores no eran invariables e incorruptibles; otro, que la propia atmósfera se extendía hasta las últimas esferas celestes, permitiendo que las exhalaciones de la Tierra alcanzasen alturas mayores y se incendiasen en regiones situadas muy por encima de la Luna. Aparte de los ataques que Copérnico hubiera iniciado contra el sistema admitido, los fundamentos del universo de Ptolomeo comenzaban a vacilar.

A finales del siglo XVI podemos apreciar con claridad la extraordinaria situación de transición que se estaba produciendo; podemos ver que eran los propios hombres de ciencia los que comenzaban a percatarse del momento de titubeo y transición que habían alcanzado las ciencias astronómicas. Un autor, Magini, dijo en 1589 que estaba haciendo mucha falta una nueva hipótesis que pudiera sustituir a la de Ptolomeo, sin ser, no obstante, tan absurda como la de Copérnico. Otro, Maestlin, afirmaba que era preciso observar con más detalle de lo que lo hicieron Ptolomeo o Copérnico y que había llegado el momento en que «la astronomía necesitaba un cambio radical». Incluso se llegó a expresar la opinión de que había que olvidarse de hipótesis y ponerse a observar sin ninguna idea preconcebida. Tycho Brahe contestó a esto diciendo que no era posible ponerse a observar sin más si no se disponía de ninguna teoría que sirviese de guía.

Y sin embargo, aquella renovación de la astronomía que reclamaba Maestlin estaba ocurriendo precisamente en los últimos años del siglo XVI; Tycho Brahe fue su primer impulsor, adquiriendo fama no por sus hipótesis, sino por lo que se ha denominado el «caos» de observaciones que dejó en herencia a sus discípulos y seguidores. Hemos visto que, en el último cuarto del siglo XVI, fue él quien hizo todas las observaciones; es más, quizá se pueda decir que observó hasta el último límite de lo observable sin la ayuda de telescopios. Mejoró notablemente los instrumentos y la precisión de los datos que se obtenían. Siguió a los planetas en su curso a lo largo de toda su órbita en vez de contentarse con tratar de localizarlos en algún punto especial de su trayectoria. Hemos hecho notar también su marcada oposición a Copérnico y en un aspecto concreto fue muy importante la

sistematización que empleó, aunque sus teorías no fueran corroboradas por los hechos; no completaba sus observaciones tratando de desarrollarlas en una hipótesis consecuente porque no era un matemático notable. Aun así, intentó poner de acuerdo los sistemas de Copérnico y Ptolomeo: algunos de los planetas giraban alrededor del Sol, pero el Sol y su sistema planetario lo hacían en un amplio arco alrededor de la Tierra inmóvil. Con esto echamos de ver una vez más el carácter intermediario y de transición de este periodo, porque consiguió una serie de adeptos; más adelante se quejaba de que otros pretendían ser los descubridores de su sistema, y tras cierto periodo del siglo XVII el número de sus discípulos creció con todos aquellos que se negaban a creer que la Tierra en verdad se moviera. No fue tan original como él creía, pues el compromiso por él alcanzado tiene una historia que data de tiempos anteriores.

Era todavía más significativo el hecho de que el caótico conjunto de datos que reunió y anotó Tycho Brahe llegase a manos de un hombre que había sido ayudante suyo durante algún tiempo, Johannes Kepler, discípulo de aquel Maestlin que había exigido una renovación de la astronomía. Por tanto, Kepler surge no como un genio aislado, sino como producto de todo aquel movimiento de renovación que se estaba desarrollando a finales del siglo XVI. Tenía la ventaja sobre Tycho Brahe de que era un gran matemático y de que pudo aprovecharse de los avances considerables de las matemáticas en el transcurso del siglo. Hubo otro factor que ayudó de forma curiosa a la renovación de la astronomía que estamos estudiando aquí, y fue un factor de una importancia muy especial para que el mundo se liberase de las esferas cristalinas y llegase a considerar a los planetas flotando en un espacio vacío. Un inglés, William Gilbert, publicó un libro famoso sobre los imanes en 1600 y se expuso a las burlas de sir Francis Bacon por ser uno de esos hombres tan enfrascados en su tema de investigación que no veían la totalidad del universo más que traducida a los términos de su problema. Había construido un imán esférico llamado *terrella* y comprobó que giraba sobre sí mismo si lo colocaba en un campo magnético; de esto dedujo que toda la Tierra era un imán, que la gravedad era una forma de atracción magnética y que los principios del imán podían explicar la forma en que actuaba el conjunto del sistema de Copérnico.

Tanto Kepler como Galileo fueron influidos por esta opinión y el primero la introdujo como parte integrante de su sistema, como base de su doctrina de gravitación casi universal. Así pues, William Gilbert actuó de mediador y echó una mano —ofreció un rayo de luz— cuando el cosmos aristotélico se estaba desmoronando y, de lo contrario, los cuerpos celestes hubieran quedado vagando ciegamente por un espacio vacío.

Por tanto, tras haber podido disponer de todas las nuevas conclusiones y tendencias, el famoso Kepler, en los primeros treinta años del siglo XVII, «puso orden en el caos de datos» que había dejado Tycho Brahe y les añadió el elixir que más necesitaban, su genio matemático. Al igual que Copérnico, creó un nuevo sistema universal, el cual, como no llegó a establecerse definitivamente, no quedó más que como un extraño monumento al genio extraordinario, a la increíble capacidad intelectual de un hombre que no disponía más que de datos y material insuficientes. Aún más que Copérnico, le guiaba un fervor místico, semirreligioso; una pasión por descubrir la magia de los números y por demostrar la música de las esferas. Al intentar encontrar afinidades matemáticas en la maquinaria de los cielos, en cierto momento trató de relacionar las órbitas planetarias con figuras geométricas y, más adelante, de hacerlas corresponder con notas de escala musical. Era como un niño que tras recoger en el campo unas flores silvestres, intenta formar con ellas un ramillete, agrupándolas unas veces de un modo y otras de otro, buscando y probando todas las combinaciones armónicas posibles. Le debemos una serie de descubrimientos y resultados —algunos más ingeniosos que útiles—, de los cuales podemos tomar tres que han tenido una importancia duradera en la historia de la astronomía. En primer lugar, al descubrir que los planetas no se mueven a una velocidad uniforme, trató de encontrar de algún modo un orden, y se le ocurrió la idea de que si trazamos una línea desde el planeta hasta el Sol, esa línea describirá un área constante en periodos constantes de tiempo. Parece que cometió dos errores en dos puntos distintos de sus cálculos, pero la solución final fue afortunada, porque los dos errores tuvieron el efecto de compensarse el uno al otro. Kepler se dio cuenta de que la velocidad de desplazamiento del planeta se veía afectada por su proximidad al Sol, lo

cual dio un nuevo empuje a su idea de que los planetas se movían gracias a una energía que emitía el Sol.

Sus descubrimientos no hubieran sido posibles sin las grandes mejoras en la observación que se habían realizado desde los tiempos de Copérnico. Kepler nos ha dejado una enorme masa de escritos que ayudan al historiador a percatarse, mejor que en el caso de sus predecesores, de la forma en que trabajaba y las fases por las que atravesó hasta llegar a sus descubrimientos. Se encontró ante la necesidad de explicar las anomalías extraordinarias de la órbita aparente de Marte al estudiar los datos reunidos por Tycho Brahe sobre el movimiento de este planeta. Sabemos cómo, con un enorme derroche de energías, fue probando una hipótesis tras otra, abandonándolas sucesivamente hasta que alcanzó un punto en el que comenzó a perfilarse ante él una idea vaga de la forma verdadera; cómo decidió que, en aras del cálculo, una elipse podía darle valores aproximadamente correctos y cómo, finalmente, descubrió que la elipse era la forma correcta, suponiendo a continuación que sería también verdad en el caso de los demás planetas.

Algunos han dicho que Kepler emancipó al mundo del mito del movimiento circular, pero esto no es cierto porque desde los tiempos de Ptolomeo había ya gente que sabía que los planetas mismos no se movían en círculos regulares. Copérnico se había dado cuenta de que ciertas combinaciones de movimiento circular se transformarían en una trayectoria elíptica, e incluso después de Kepler encontramos a algunos que atribuyen la órbita elíptica de los planetas a una superposición de trayectorias circulares. La obsesión por el movimiento circular estaba ya desapareciendo por entonces, aunque fuera por otros motivos, especialmente porque comenzaba a resultar imposible creer en la existencia de esferas de cristal sólido. Las esferas, las diversas ruedas interiores de la vasta maquinaria celeste, habían sido las que habían gozado del placer del movimiento circular, mientras que los planetas, al registrar el efecto de varios movimientos compuestos, seguían trayectorias más complejas; este era un hecho ya conocido. Lo que simbolizaba la perfección de los cielos era el movimiento circular de las esferas en sí, mientras que los planetas no eran más que algo como el piloto trasero de una bicicleta; quizá fuese lo único

visible desde la Tierra y se movía de forma irregular. No obstante, al igual que sabemos que lo que tiene verdadera importancia es el que va montado en la bicicleta, aunque no veamos nada más que su lucecita, las órbitas celestes habían constituido la maquinaria esencial de los cielos aunque no viéramos nada más que los planetas que se movían sobre ellas. Una vez eliminadas las esferas de cristal, el movimiento circular dejó de tener aquella importancia tan fundamental; en adelante, lo que importó fue la trayectoria de los planetas mismos. Era como si se hubiese demostrado que no iba nadie montado en la bicicleta y se descubriera que el piloto trasero se movía en el espacio vacío por sus propios medios. El mundo podía haber quedado libre del movimiento circular, pero afrontaba problemas más complejos que nunca, provocados por aquellas lucecitas sueltas, sin una bicicleta a la cual fijarlas. Si los cielos eran así, entonces había que descubrir por qué tenían orden alguno, por qué no el universo se desintegraba por el correr insensato y las colisiones incontrolables de innumerables bolas de billar.

Kepler creía en el orden y en la armonía de los números, y fue durante su intento de determinar la música de las esferas cuando descubrió, entre otras muchas cosas, la tercera de la serie de sus leyes planetarias, la que habría de ser verdaderamente útil y permanente, a saber: que los cuadrados del periodo de la órbita eran proporcionales a los cubos de su distancia media hasta el Sol. Para entonces Kepler era místico en un sentido algo diferente al de antes: ya no buscaba una música real de las esferas que pudiera ser oída por Dios o por los hombres, o que estuviera llena de contenido místico. La música de las esferas no era para él ni más ni menos que las matemáticas como tales —las afinidades puramente matemáticas que exhibía el universo—, de modo que lo único que le interesaba era seguir adelante, encontrando siempre nuevas proporciones matemáticas en los cielos. Podemos decir, de hecho, que esta adoración de las proporciones numéricas, de las relaciones matemáticas en cuanto tales, reemplazó a los primeros empeños, todavía apreciables en Galileo, de representar los cielos en un sistema de círculos y esferas, y que pasó a ser la base de una nueva astronomía. Es en este sentido particular como se puede considerar a Kepler el innovador de las antiguas teorías, que no se apartaban de su búsqueda del

movimiento circular. Además, por el mismo camino, Kepler se transformó en el apóstol del sistema mecanicista —el primero de los del siglo XVII—, consciente de que aspiraba a transformar el universo en un puro mecanismo de relojería y convencido de que esa era la mejor manera de glorificar al Señor. Será necesario que consideremos por un momento el sistema de Kepler en conjunto cuando lleguemos al problema de la gravitación más adelante en nuestro relato. Debemos señalar que, como es natural, Kepler creía en el movimiento de la Tierra y demostró que si sus suposiciones eran exactas, el movimiento encajaba a la perfección en las leyes que había descubierto para los planetas en general.

Además de las tres leyes planetarias de Kepler, durante el mismo periodo hubo un hecho que engrosó el material que venía a firmar la sentencia de Ptolomeo y Aristóteles. Galileo había tenido noticia del descubrimiento del telescopio en Holanda y se había construido uno para él, aunque no antes de que hubiera hecho su aparición en Venecia un ejemplar del instrumento holandés. El cielo se llenó al instante de cosas nuevas, y la visión tradicional de los cuerpos celestes se volvió más difícil de sostener que nunca. Hubo dos novedades de importancia particular. En primer lugar, el descubrimiento de los satélites de Júpiter ofreció una imagen de lo que podríamos llamar un sistema solar en miniatura. Aquellos que habían dicho que no cabía duda de que la Luna giraba en torno a la Tierra —*ergo* en un cielo normal los cuerpos celestes tenían que girar alrededor de un centro común— se encontraban ahora con que Júpiter poseía sus propias lunas que giraban en torno suyo al mismo tiempo que el planeta y su séquito se movían todos juntos, bien alrededor del Sol, como decía Copérnico, bien alrededor de la Tierra, como pretendía el sistema de Ptolomeo. Por tanto, había otro objeto aparte de la Tierra que actuaba como centro de un movimiento que ocurría en el cielo. En segundo lugar, se hicieron visibles las manchas solares, y si lo que observó Galileo era cierto, hacían caer por su base la teoría de que los cielos eran inmaculados e inalterables. Galileo se propuso demostrar que las manchas eran en cierto modo una parte del Sol, que giraban con él, a pesar de que los aristotélicos intentaban alegar que se trataba de nubes que tapaban en parte al astro y que algunos de los descubrimientos de Galileo eran fruto de defectos en las lentes de su

telescopio. El pisano se sintió profundamente ofendido por aquellos vilipendios y fue entonces cuando la controversia con los aristotélicos alcanzó su máxima intensidad, no solo porque los hechos estaban maduros para que sucediese algo, sino porque Galileo, sometido al escarnio por sus colegas universitarios y por los frailes, dejó de limitarse a la mecánica para fijar su atención en Aristóteles en general. Dominó todo el campo de la controversia, aportando una increíble imaginación polémica que a su vez estimuló a sus enemigos.

Su intervención tuvo particular importancia, porque se había alcanzado el punto en el que se llegaría a un callejón sin salida a no ser que la nueva astronomía pudiera de algún modo reconciliarse con la nueva ciencia de la dinámica. El cosmos aristotélico podría verse comprometido —es más, estaba condenado a la destrucción por los nuevos descubrimientos de la astronomía—, pero los hechos no ayudaron a los investigadores a vencer el obstáculo: no les mostraron la manera de armonizar el movimiento de la Tierra con los principios de la mecánica aristotélica, ni de explicar los movimientos del cielo. Copérnico había seguido el camino consistente en tratar a la Tierra casi como un cuerpo celeste en el sentido aristotélico (una esfera perfecta regida por las leyes que operaban hasta en los últimos confines del cielo). Galileo lo completó tomando la dirección opuesta, tratando a los cuerpos celestes como si fueran objetos terrestres y considerando a los planetas sujetos a las mismas leyes que regían el comportamiento de una esfera en un plano inclinado. En todo ello había algo que tendía a reducir la totalidad del universo a una serie común de leyes físicas, y se aprecia claramente que el mundo se iba volviendo cada vez más propenso a admitir una opción de este tipo.

Después de construir su telescopio en 1609 y de observar los fenómenos inquietantes que le reveló enseguida, las relaciones de Galileo con los peripatéticos —los discípulos de Aristóteles— en la Universidad de Padua se hicieron muy tirantes. Aunque durante algún tiempo fue apoyado y animado por personas de alto rango y hasta por la propia Roma, la intensificación de la controversia dio lugar a la condena de la hipótesis de Copérnico por la Congregación del Índice en 1616. Esto no impidió que entre 1625 y 1629 Galileo escribiera la serie de diálogos sobre *Los dos*

principales sistemas universales, que destinó a ser su *magnum opus* y que habían de conducirle a la condena. Aquel libro recorría de un extremo a otro toda la parte antiaristotélica de la polémica, no solamente en el campo de la astronomía sino también en el de la mecánica, como si intentase dejar bien claro todo cuanto había que decir contra los seguidores del sistema antiguo. Sirve de testimonio de lo inútil que era atacar las doctrinas aristotélicas por un solo punto, de lo fútil que era el intento de combatirlas en una esquina para cambiar el significado del movimiento con la teoría del ímpetu, como habían hecho los parisinos; con ello no se conseguía nada más que rellenar un hueco de un rompecabezas con una pieza que pertenecía a un juego completamente distinto. Lo que hacía falta era un cambio fundamental en la estructura —sustituir todo un sistema perfectamente coordinado por otro que también lo estuviera— y, en cierto modo, parecía como si toda la síntesis aristotélica tuviese que ser echada abajo de golpe. Ese es el motivo de la enorme importancia de Galileo, porque en un momento estratégico asumió el mando de una política de ataque simultáneo en todos los frentes.

La obra en cuestión fue escrita en italiano e iba dirigida a un público más amplio que el científico, más allá del mundo universitario que Galileo se proponía atacar. El lenguaje de su argumentación era el de la conversación común y corriente, de características mucho más vulgares y generales de lo que podría imaginar un lector moderno; los propios *Diálogos* llaman la atención por su refinamiento literario y su agudeza argumentativa. Galileo no se fijó mucho en los descubrimientos astronómicos de Kepler; su idea general era más bien copernicana, y le bastaba con discutir el movimiento puramente circular de los cielos. Se le había considerado poco justo por no haber hablado más que de dos sistemas universales principales, el de Ptolomeo y el de Copérnico, pasando por alto los sistemas más modernos de Tycho Brahe y de Johannes Kepler. Su mecánica es algo menos original de lo que cree la mayoría de la gente, pues aparte de los viejos maestros de la teoría del ímpetu, había tenido precursores más inmediatos que ya habían iniciado el estudio del vuelo de un proyectil siguiendo líneas más modernas, así como de las leyes de la inercia y el comportamiento de los graves. No fue original al demostrar que

las nubes, el aire y todo lo que había sobre la Tierra —incluidos los cuerpos al caer— giraban, como es natural, con la Tierra misma, como parte del mismo sistema mecánico, y que el movimiento común no afectaba a las relaciones existentes entre ellos, de modo que, al igual que los objetos en el camarote de un barco, podían parecerle inmóviles a quien se movía con ellos. Su sistema mecánico no llegó a surgir de manera clara y concreta; ni siquiera llegó a alcanzar explícitamente las leyes modernas de la inercia, ya que, una vez más, seguía arrastrando en cierto modo el lastre del movimiento circular. No obstante, fue ante todo en el ámbito de la mecánica donde Galileo hizo su contribución principal a la resolución del problema de los cielos, y fue allí donde se aproximó tanto a la solución verdadera que los que le siguieron no tuvieron que hacer nada más que continuar la labor que él había iniciado, según su propia línea de razonamiento; los estudiantes futuros pudieron leer en su obra, entre líneas, opiniones que de hecho no habrían de surgir hasta más tarde. La mecánica de Galileo ocupó un lugar estratégico en la historia, porque tuvo que ser conjugada con la astronomía de Kepler antes de que se estableciera el nuevo orden científico. Y hasta la nueva dinámica no hubiera podido ser desarrollada simplemente por el estudio del movimiento de la Tierra. Galileo es importante porque comenzó a desarrollarlas también en relación con el comportamiento de los cuerpos celestes.

En resumidas cuentas, Galileo no consiguió afirmar definitivamente su idea —no demostró sin lugar a dudas la rotación de la Tierra— y en la situación resultante, cualquier lector podía escoger entre admitir toda su manera de ver o rechazarla en su totalidad; era cuestión de adoptar todo el campo de ideas al que había transportado el problema. Es cierto que la mente genuinamente científica no podía resistirse a aceptar el caso en su totalidad o negarse a contemplar el conjunto desde el nuevo punto de vista; pero cuando se atacó en los *Diálogos* al portavoz de Galileo por no haber demostrado hasta el final su caso —al no haber hecho nada más que explicar por qué eran erróneas las ideas que hacían parecer imposible el movimiento de la Tierra—, pareció dispuesto a admitir que, en efecto, no había demostrado el movimiento en sí, y al final del libro III sacó su arma secreta: afirmó que tenía un argumento que lo demostraría sin lugar a

dudas. Sabemos que Galileo le daba una importancia fundamental a este punto, que aparece en el libro IV, y hasta pensó en sacar el título de toda la obra de este pasaje en particular. Su argumento era que las mareas demostraban el movimiento de la Tierra. Hizo un largo estudio de ellas y dijo que se debían, por decirlo así, a la agitación del recipiente que las contenía. Aunque esto parecía contradecir lo que había dicho antes —a saber, que cuanto había sobre la Tierra se movía con ella, sin verse más afectado por el movimiento que una bujía a bordo de un barco—, aseguró que era la combinación de movimientos —la rotación diaria junto con la traslación anual, y las tensiones y cambios de velocidad que ello producía— lo que originaba las sacudidas y, por tanto, producía las mareas. Nada podría demostrarnos mejor el estado de transición en que se encontraba todo el problema que el hecho de que la prueba principal de Galileo para demostrar el movimiento de la Tierra fuera una gran equivocación y no aportase nada a la verdadera solución.

La física aristotélica estaba sin duda alguna desmoronándose y el sistema ptolemaico estaba herido de muerte. Sin embargo, hasta los tiempos de Newton no apareció ningún sistema que los sustituyese de forma satisfactoria, y aunque los hombres de ciencia de ideas más avanzadas empezasen a creer en adelante en el movimiento de la Tierra, alrededor de 1630 la tendencia general fue al parecer aceptar el sistema de compromiso de Tycho Brahe. En 1672 un autor podía decir que quien estudiaba los cielos tenía cuatro sistemas distintos para escoger, y había algunos que hablaban hasta de siete. Incluso en una fecha tan tardía podía darse el caso de que un investigador cualquiera —como había hecho Galileo— pudiera anunciar que, finalmente, había descubierto la demostración verdadera. La larga duración de este estado de cosas, lleno de dudas e incertidumbres, hace resaltar todavía más la importancia de sir Isaac Newton. También podemos comprender mejor, aunque no podamos perdonarlo, el trato que la Iglesia dio a Galileo por una suposición que había expuesto de muchas maneras en sus diálogos sobre *Los dos principales sistemas universales*.

Aunque las obras más famosas de Galileo aparecieron en la década de 1630, eran fruto de trabajos realizados en fechas anteriores. Realmente, el segundo cuarto del siglo XVII representa una nueva generación (la de los

discípulos de Galileo, en particular la de aquellos que le siguieron en calidad de fundador de la mecánica moderna). En esos años entre 1630 y 1640, sus ideas son desarrolladas y el tema esencial de la narración se concentra en un grupo de investigadores relacionados entre sí, cuyo centro parece ser París, aunque existen también ramificaciones en Italia y Holanda.

Este grupo incluye a Isaac Beeckman (1588-1637), holandés, un hombre que estimuló a muchos otros a interesarse por problemas importantes e inició toda una serie de ideas. Junto a él aparece Marin Mersenne (1588-1648), que no descubrió grandes cosas, pero sirvió de fichero central de información y para encauzar las comunicaciones; un hombre que invitó a la investigación, reunió resultados, incitó a un investigador contra otro y suscitó controversias. Siguiéndoles por orden de edad encontramos a Pierre Gassendi (1592-1655), filósofo y autor de biografías científicas, que poseía conocimientos enciclopédicos de la ciencia de su tiempo. Y después de él viene René Descartes (1596-1650), quien, aunque en muchos aspectos aparece como un solitario, fue matemático, físico y filósofo, todo en uno. Le sigue Gilles de Roberval (1602-1675), una figura original, esencialmente un matemático, mientras que el discípulo de Galileo, Evangelista Torricelli (1608-1647), también aparece alguna vez en escena. Hasta el famoso Pascal y Christian Huygens entraron en contacto con el círculo en su juventud, en los últimos años del periodo, y ayudaron a tender el puente hasta la nueva generación, pues sus padres habían estado relacionados con el grupo. El inglés Thomas Hobbes no comenzó a desarrollar sus ideas sobre el universo físico hasta que entró en contacto con Mersenne y sus amigos.

Estos son los hombres que hacen que la cuestión dé un paso adelante. Aunque son discípulos de Galileo en el campo de la mecánica, al principio se sienten inclinados a adoptar una actitud cautelosa frente a su cosmología. Algunos de ellos opinan que no había conseguido afianzar la teoría de Copérnico, a pesar de que posiblemente aceptaban el sistema del polaco debido a su mayor economía y su mayor estética en comparación con los sistemas antiguos. Lo que adoptaron sobre todo fue la manera en que Galileo matematizaba un problema, y lo que más les interesaba quizá fuese el establecimiento del principio moderno de la inercia, la tesis de que los

objetos seguirán moviéndose en línea recta mientras no intervenga nada que altere su desplazamiento. Este principio es importante, porque ofrece un punto de partida para una nueva ciencia de la dinámica.

Se siguió trabajando en el problema de los graves y de la hidrostática, y la propia atmósfera empezó a ser estudiada desde puntos de vista mecánicos. Alrededor de 1630 se comenzó a trabajar independientemente en varios lugares partiendo de la hipótesis de que el aire pesa. Volvió a plantearse el problema de la posible existencia de un vacío, y surgieron aquellas indagaciones que nos llevan de Galileo al famoso experimento de Torricelli: al barómetro y la bomba de aire. Se comenzó a ridiculizar la antigua forma de explicar las cosas por la suposición de la existencia de simpatías secretas entre varias formas de la materia o por el «horror» de la naturaleza al vacío; no eran válidas más que las explicaciones mecánicas. El imán seguía siendo un problema serio, porque parecía confirmar la idea de una atracción por mutua simpatía, pero se observaba una tendencia a creer que algún día se podría explicar con principios mecánicos. Ahora se sentía una inclinación menor a creer en la capacidad del imán para detectar a una mujer adúltera o para imponer la paz entre marido y mujer.

Seguía en pie la guerra contra Aristóteles, y ello implicaba la guerra contra el escolasticismo medieval y contra los seguidores modernos, conservadores, de Aristóteles —los peripatéticos—, que siguieron ocupando su lugar en las universidades incluso cuando ya había pasado aquel periodo. Pero la lucha iba también dirigida contra el llamado «naturalismo del Renacimiento», la creencia en el pampsiquismo y en el animismo, que les atribuía un alma a todas las cosas y que veía milagros por todas partes en la naturaleza. El naturalismo renacentista era atacado, en parte, en nombre de la propia religión, y los cristianos ayudaron a la causa del racionalismo moderno por su firme decisión de eliminar del mundo toda la magia y los milagros salvo los divinos. Algunos hombres de ciencia de esta nueva generación argüían que incluso los milagros cristianos no encontraban justificación más que si se podía suponer que los sucesos normales del mundo eran regulares y estaban sujetos a leyes. En el círculo de Mersenne, en la década de 1630 surgió la idea de una interpretación enteramente mecanicista del universo, y sus principales exponentes fueron

los hombres más profundamente religiosos del grupo. Ansiaban demostrar lo adecuado y perfecto de la Creación, el racionalismo de Dios.

La llegada del libro impreso, por un lado, y la de la xilografía y el grabado, por otro, habían transformado notablemente el problema de las comunicaciones científicas desde los tiempos del Renacimiento, aunque sorprende comprobar lo localizados que podían quedar los trabajos originales todavía en el siglo XVI. Antes de acabar el siglo comenzó a adquirir importancia el carteo entre los hombres de ciencia, quizá principalmente entre los astrónomos, que comprobaron lo valioso que era poder comparar observaciones hechas en distintos lugares. A partir de la época de Galileo, el desarrollo de la ciencia moderna ofrece un carácter mucho más marcado de movimiento general y se vuelve mucho más difícil de reconstruir que la labor de un único hombre. El método experimental se puso de moda tanto en la universidad como fuera de ella, y gente que anteriormente se había dedicado a las antigüedades o a coleccionar monedas comenzó a considerar una señal de cultura patrocinar las ciencias y los experimentos coleccionar plantas raras y otras curiosidades de la naturaleza. Entre el clero y los profesores, los doctores y los aristócratas, surgían aficionados entusiastas, algunos atraídos por amor a las maravillas, por trucos y juguetes mecánicos o por los aspectos fantásticos de la naturaleza. Efectivamente, parece como si muchos de los nombres famosos del siglo XVII hubieran pertenecido a esta categoría.

Los hombres de ciencia utilizaban hasta cierto punto los sistemas de comunicación que ya existían en aquel periodo para otros fines, y los antecesores de las sociedades científicas son los clubes literarios del siglo XVI y los grupos que celebraban reuniones para discutir sobre filosofía durante el Renacimiento. Era costumbre que la gente se reuniese, sin regla fija, para leer comunicaciones de corresponsales extranjeros; cartas que no solo describían sucesos políticos, sino también las últimas publicaciones y tendencias ideológicas. Paulatinamente se fueron incluyendo como temas de discusión los trabajos científicos y hasta los experimentos. En algunos casos, los que se interesaban por la ciencia tenían la sensación de que las noticias eran de índole demasiado política, de modo que trataban de darle a la reunión un carácter más científico o incluso se alejaban de ella para

formar un círculo propio enteramente científico. Un grupo que se reunía en casa del historiador francés De Thou estaba compuesto de universitarios, hombres de letras y miembros de las profesiones liberales, y más tarde, durante varios lustros, se congregó en torno a los hermanos Dupuy, funcionando como oficina de intercambio de noticias procedentes del extranjero y adquiriendo en algunos momentos un marcado carácter político. Aun así, no siempre siguió el mismo derrotero, y entre los que asistían a las reuniones encontramos miembros del movimiento científico (por ejemplo, Mersenne y Gassendi). Henry Oldenburg, que fue más adelante secretario de la Royal Society, asistió a las reuniones entre 1659 y 1660. Entre 1633 y 1642 se celebraban sesiones semanales en la casa de Théophraste Renaudot, en París, y allí se publicaba un semanario. Se denominaban *Conférences du Bureau d'Adresse*, y las discusiones giraban en torno a conceptos como la materia primigenia y la causa, acerca de temas como el aire, el agua, los átomos, el rocío y el fuego, seres mitológicos como el Unicornio y el Ave Fénix, pero también acerca de la narrativa, la danza, la educación de la mujer y la situación comercial. Aquellos círculos ejercieron cierta influencia en Inglaterra hacia finales de la década de 1640.

No obstante, ya desde principios del siglo XVII existían entre los hombres de ciencia grupos, sociedades o academias más serias, y aquí la prelación parece corresponder a un círculo romano llamado Accademia dei Lincei, que existió desde 1600 hasta 1657 con una interrupción antes de 1609, al ser clausurada porque se le achacaban encantamientos y envenenamientos. Se reunían en casa de su mecenas, un duque, pero tenían la esperanza de fundar un museo propio, una biblioteca, laboratorios, un jardín botánico y una imprenta, así como de crear filiales en varias partes del mundo. A partir de 1609, sus actas constituyen la publicación escrita más antigua de cualquier sociedad científica. El propio Galileo era miembro activo de ella y construyó un microscopio para la sociedad, que publicó una o dos de sus obras más importantes.

Tienen una importancia histórica similar los círculos fundados por Mersenne en 1635, quien los mantuvo activos hasta su muerte, acaecida en 1648. En ellos reunió a físicos y matemáticos con mayor o menor

regularidad; Gassendi, Desargues, Roberval, Descartes, los dos Pascal y otros muchos asistieron a sus reuniones. Se afirma que Mersenne fue el promotor, más que ninguna otra persona, del afianzamiento de París como centro intelectual europeo durante el segundo tercio del siglo XVII. Él mismo mantuvo un intercambio epistolar universal, transmitió problemas de un hombre de ciencia a otro, sometió las sugerencias de uno a las críticas de sus rivales, entabló relaciones en el extranjero y creó el sistema más importante de comunicaciones científicas de los que entonces existían. Una gran parte de la historia esencial de la ciencia durante el siglo XVII tiene que ser estudiada en la abundante correspondencia de hombres como Mersenne. En las reuniones de carácter más estrictamente científico se criticaba la labor de diferentes investigadores, se intentaban repetir sus experimentos y se hacían objeciones, y las conclusiones presentadas eran sometidas al debate general.

5
EL MÉTODO EXPERIMENTAL EN EL SIGLO XVII

No siempre nos hemos dado cuenta de hasta qué punto las ciencias medievales procedían de lo que hoy en día llamaríamos la transmisión literaria y de cómo entraron en la historia europea como una herencia de la antigua Grecia y de la Roma imperial. Nadie puede estudiar el estado real en que se encontraba la ciencia en, por ejemplo, el siglo X sin percatarse de lo que se había perdido en sabiduría y en técnica —en civilización— de los días de la antigua Atenas y de la Alejandría de la Antigüedad, o incluso desde los tiempos de san Agustín. Nadie que sea consciente de lo que era la Europa que surgió del oscurantismo medieval, o de lo que eran nuestros antepasados anglosajones uno o dos siglos antes de la conquista normanda, pensará que el mundo de entonces estaba en condiciones de descubrir por sus propios medios la ciencia que Atenas y Alejandría habían alcanzado en sus épocas de mayor florecimiento. Era preciso restablecer el contacto con la ciencia de la Antigüedad desenterrando textos y manuscritos, o consiguiendo traducciones y comentarios de pueblos como el árabe o de los vasallos del Imperio bizantino, que poseían ya el contacto o quizá no lo habían perdido nunca. El proceso de recuperación culminó y adquirió conciencia plena durante el periodo que hemos denominado Renacimiento. Habrían sido precisos cientos de años más si la Edad Media hubiera tenido, por decirlo así, que descubrir las mismas cosas por sus propios medios; es decir, si hubiese tenido que volver a encontrar las verdades científicas y filosóficas por medio de sus estudios y sus investigaciones, sin ayuda exterior.

Todo esto sirve para explicar por qué tantos aspectos de la historia del pensamiento medieval se apoyan en un corpus de datos que en realidad pertenece a la transmisión literaria de la ciencia y la filosofía clásicas. Los

historiadores opinan que es de importancia fundamental averiguar en qué fecha exacta se resucitó en Europa occidental una obra determinada de Aristóteles, o cuándo se dispuso por primera vez de un tratado científico a través de una traducción árabe y —todavía mejor— cuándo consiguió Europa el texto auténtico en su idioma original. El proceso no sufrió retrasos por ningún reparo que la Europa católica pudiera poner al hecho de aprender de los árabes infieles, de los bizantinos cismáticos o hasta de los griegos paganos. Ni tampoco se tiene noticia de que en la Edad Media se dejase pasar por alto ninguna oportunidad, ni que se despreciase ninguna fuente de información, porque estuviera manchada de paganismo o infidelidad. Puesto que las clases intelectuales medievales eran clericales y sus directivas eran religiosas, es comprensible que las ciencias naturales existentes ocupasen el lugar secundario que siempre habían tenido en el campo más extenso de la filosofía; se puede decir que no existían entonces lo que nosotros llamamos «naturalistas» o, cuando menos, que carecían de toda importancia. A causa de la relevancia que tenía la transmisión puramente literaria, lo que nosotros llamamos «ciencia», y que se debería denominar «filosofía natural», era ante todo una serie de textos clásicos sobre los cuales se iban amontonando uno tras otro nuevos comentarios, obra generalmente de gente que trabajaba en sus mesas, sin observar ni experimentar. Si, incluso durante el Renacimiento, se consideraba a la filosofía la reina de las ciencias, se debía al hecho de que quien dominaba las lenguas clásicas era el que ocupaba la posición clave. Todavía hoy podemos leer las cartas de los humanistas que maldecían su destino porque se veían obligados a estropear su estilo traduciendo del griego obras de física.

Así pues, en la Edad Media los hombres se encontraron con un patrimonio que consistía en la explicación física del universo y de la manera de actuar de la naturaleza; este patrimonio les había caído del cielo y se lo encontraron terminado y listo para ser empleado. Y fueron mucho más esclavos de aquel sistema intelectual que si lo hubiesen descubierto por sí mismos, elaborándolo a partir de sus propias investigaciones y estudios y de su propia lucha en pos de la verdad. Incluso parece adivinarse alguna que otra dificultad, algún que otro lapso, allí donde aparecía una solución

de continuidad en la transmisión, donde quedaban por descubrir partes de la ciencia clásica. Ya hemos señalado, por ejemplo, ciertas tendencias en el París del siglo XIV que se cree que cesaron apenas comenzadas a causa de la imperfección de las matemáticas, deficiencia que fue subsanada en parte durante el Renacimiento al descubrirse nuevos textos clásicos. En estas condiciones, las principales grietas que abrieron el camino al pensamiento independiente —incluso a las principales controversias del siglo XVI— se produjeron en aquellas cuestiones sobre las que los autores clásicos discrepaban. Y aunque a finales de la Edad Media algunos hombres comenzaban a experimentar y a ampliar los confines del pensamiento, en su mayor parte eran como los teóricos del ímpetu, que no hacían nada más que juguetear al borde de aquel sistema aristotélico que, en el año 1500, al pensador racional debía de parecerle cuando menos tan válido como lo había sido mil quinientos años antes. Aunque había quien, en las postrimerías de la Edad Media, comenzaba a observar la naturaleza con meticulosidad y empeño, mejorando cada vez más sus métodos de observación, se propendía a compilar enciclopedias meramente descriptivas. Cuando surgía algo que requiriese una explicación, nunca la deducían de los hechos observados, sino que seguían aprovechándose del sistema de explicaciones que la filosofía clásica les había legado. Sir Francis Bacon, a principios del siglo XVII, se quejaba de aquel divorcio entre la observación y la explicación, y parte de su propósito fue demostrar la manera en que la segunda debía surgir de la primera.

Por lo que podemos apreciar, las matemáticas de la antigua Alejandría, descubiertas durante el Renacimiento, y la obra de Arquímedes, puesta a la disposición de todos en una traducción aparecida en 1543, constituían el último filón de la ciencia clásica descubierto con tiempo suficiente para conformar uno de los ingredientes o factores de nuestra ciencia moderna. Como ya hemos visto, se trataba de una serie de conocimientos que era necesario encontrar para que todos los componentes del movimiento científico pudieran ser ensamblados y para que el esfuerzo autónomo de los hombres de ciencia —de un nuevo equipo de pioneros de la investigación— pudiera comenzar a avanzar. Y es notable cuán rápido comenzaron a moverse las cosas una vez que se hubieron reunido todos los ingredientes

necesarios. A comienzos del siglo XVII, como ya sabemos, se estaba hundiendo la antigua explicación del universo (el esqueleto de la ciencia de aquel tiempo). Comenzaba a surgir lo que los contemporáneos percibían como una verdadera Revolución científica y lo que, para nosotros, es la aurora de la ciencia moderna.

Ahora bien, si lo que nos proponemos es comprender el nacimiento de la ciencia moderna, no debemos imaginar que todo se puede explicar por el hecho de que comenzara a perfilarse el sistema de investigación experimental, ni que los experimentos eran una gran novedad. Todos, incluso los enemigos del aristotélico, admitían que ningún sistema habría podido establecerse si no se hubiera basado en experimentos y en observaciones (algo que quizá hubiera sido necesario recordárselo a aquellos catedráticos de los siglos XVI y XVII que se aferraban a la rutina de siempre y que seguían comentando demasiado —en lo que podríamos denominar forma «literaria»— las obras de los clásicos). No obstante, acaso nos sorprendamos al descubrir que en uno de los diálogos de Galileo, es Simplicius, el portavoz de los aristotélicos —el cabeza de turco de toda la obra—, quien defiende el método experimental de Aristóteles contra lo que se describe como el método matemático de Galileo. Y en otro pasaje es el portavoz del propio Galileo quien dice que, aunque Aristóteles no da más que razones para demostrar que lo que tiene que pasar es esto o lo de más allá, aquello no es más que la forma en que el Estagirita trata de demostrar su tesis; el descubrimiento tiene que haber sido el resultado de un experimento. Ya hemos visto que la Facultad de Medicina de la Universidad de Padua y sus estudiantes iban en cabeza de casi todo el mundo en cuanto a experimentación, y el resultado más notable del método experimental que hemos encontrado hasta ahora en estas páginas es el tratado de William Harvey sobre la circulación de la sangre. Sin embargo, no sería en las ciencias biológicas donde habría de sufrir su descalabro más serio el modo aristotélico de enfrentarse a un problema. No fue allí donde encontró su centro, su eje de rotación, la Revolución científica; por el contrario, más adelante tendremos que estudiar cómo afectó dicha revolución a la biología y a otras ciencias al reflejarse sobre ellas, como quien dice (y en segunda instancia). Lo que es todavía más notable es que la ciencia experimental por

excelencia —la que estaba centrada en los laboratorios incluso antes del comienzo de los tiempos modernos— se mostró exageradamente lenta, si es que no fue la más lenta de todas, en alcanzar su forma moderna. La alquimia tardó mucho en transformarse en química, y la propia química pasó a ser cuantitativa y no cualitativa en sus métodos, en el más amplio sentido de la palabra, como las ciencias antiguas.

A este respecto, será interesante echar un vistazo al que es quizá el experimento más famoso de la Revolución científica, y del que un historiador afirmó en 1923 que lo consideraba «uno de los hechos más notables de la historia de la ciencia». Lo conocemos por la narración imprecisa de un discípulo y biógrafo algo romántico de Galileo, según el cual su maestro había dejado caer dos cuerpos de peso distinto desde la torre de Pisa para demostrar que Aristóteles se equivocaba al decir que caerían a velocidades proporcionales a sus pesos. Historiadores posteriores suministraron más detalles y en una obra publicada en 1918 aparecieron los hechos completos: leemos que aquel mártir de la ciencia subió a la torre inclinada llevando bajo un brazo una bala de cañón de cien libras y otra de una libra bajo el otro; y hasta el doctor Singer repite el relato en 1941 en su historia de la ciencia, en la que lo denomina «el más famoso de los experimentos» y lo atribuye al año 1591. Nadie de entre la muchedumbre que lo presenció, según nos dicen, hizo referencia alguna al experimento —aunque, como vamos a ver, había razones particulares para que lo hicieran, si es que de verdad lo presenciaron—, y los escritos del propio Galileo no confirman el hecho. Por el contrario, estos demuestran que había llevado a cabo el experimento repetidas veces en su juventud con el resultado opuesto: dice en una de sus obras juveniles que había ensayado aquello en varias ocasiones desde una torre alta y que, en todas ellas, un trozo de plomo adelantaba muy pronto a un trozo de madera. El experimento en cuestión había sido ya realizado por otro hombre de ciencia, Simon Stevin, de Brujas, y fue recogido en un libro publicado en 1605. Sin embargo, Stevin dejó caer bolas de plomo desde una altura de solo treinta pies, y teniendo en cuenta lo poco que en aquellos tiempos se sabía acerca de la resistencia del aire, los aristotélicos no andaban quizá tan desencaminados

al decir que el resultado no era concluyente y que era preciso realizar el experimento desde una gran altura.

Como Galileo se había ocupado en su juventud de especulaciones curiosas sobre el comportamiento de los graves al caer, debería haber estado en condiciones de apreciar aquellas razones, ya que en una de sus obras juveniles incluso había insistido en que era inútil arrojar los cuerpos desde lo alto de una torre; dijo que hubiera sido necesario duplicar la altura para poder juzgar correctamente. Para rematar la comedia, fue un aristotélico, Coresio, quien en 1612 indicó que los experimentos anteriores habían sido efectuados desde demasiada poca altura. En una obra publicada aquel año, describió la forma en que había mejorado las condiciones del experimento en relación con todos los realizados anteriormente: no solo había arrojado cuerpos desde una ventana alta, sino que lo había hecho desde el extremo de la torre de Pisa. El cuerpo más grande había caído más deprisa que el más pequeño en aquella ocasión, y el experimento, afirmó, demostraba que Aristóteles había estado siempre en lo cierto. La obra de Coresio fue publicada en Florencia, y no parece que ni Galileo ni nadie más negase la verdad de la aseveración, aunque la fecha en que se realizó fue muy posterior al pretendido incidente de la vida de Galileo.

En realidad, los precursores de Galileo se habían ido aproximando a la solución del problema por caminos completamente diferentes desde hacía ya algún tiempo. Al principio habían procedido con timidez, opinando que pesos distintos de una misma sustancia caerían al mismo tiempo, aunque posiblemente cuerpos de distinta composición alcanzasen velocidades diferentes. De hecho, Galileo emplea el argumento de sus predecesores: habían concluido que dos tejas, de una libra de peso cada una, dejadas caer a la vez alcanzarían el suelo exactamente al mismo tiempo. Si se las fijaba una a otra, seguirían cayendo a la misma velocidad que lo hacían al ser soltadas por separado, y si se fijaba una encima de la otra, la de encima seguiría sin ejercer mayor presión que antes y, por tanto, no haría nada para obligar a su compañera inferior a caer a mayor velocidad que la primera vez. En otras palabras, los predecesores de Galileo habían buscado la solución del problema por medio de razonamientos, y ni ellos ni el propio Galileo demostraron interés alguno por alterar su conclusión en vista de que

el experimento no había podido confirmar su hipótesis. En su juventud Galileo sostuvo durante algún tiempo que los graves, al caer, no sufrían aceleración; que, cuando menos, tan solo la experimentaban al principio de la caída, hasta que comenzaban a cobrar velocidad. Hasta en este punto se negó a dejarse convencer por simples observaciones. Rehusó cambiar de opinión en relación con esto por los resultados de un experimento efectuado desde lo alto de una torre, diciendo que sería necesario dejar caer los objetos desde una altura dos veces mayor antes de poder considerar que la prueba era decisiva. Como apéndice a toda la anécdota, cabe señalar que había una controversia acerca de si el propio Aristóteles sostenía las teorías que habrían hecho que aquel experimento decisivo le hubiera desacreditado. No obstante, la cuestión carece de importancia, puesto que los aristotélicos del siglo XVII sí eran partidarios de esta teoría y estaban dispuestos a aceptar el resultado, cualquiera que fuese.

En relación con este y con muchos otros fenómenos similares, nos aproximaríamos bastante a la verdad si dijéramos que, durante unos cincuenta años, se han comentado mucho los denominados «experimentos del pensamiento» de Galileo. En algunas de sus obras no se puede dejar de observar la manera en que algunas veces afirma: «Si hiciéramos tal cosa, sucedería tal otra», y en ciertas ocasiones parece como si se hubiese equivocado en su deducción; en algunas ocasiones nadie se detiene a preocuparse de si uno de los dialogantes afirma concretamente que no se ha efectuado nunca el experimento. También es curioso observar con cuánta frecuencia emplea Galileo estos «experimentos del pensamiento» en relación con los problemas de mecánica que afectan a la cuestión de la rotación de la Tierra, y con cuánta frecuencia recurre a ellos cuando se tiene que enfrentar a los argumentos que eran el arma más poderosa de los aristotélicos. El pisano examina lo que sucedería si se dejase caer una piedra desde lo alto del mástil de un barco si a) el barco estaba en movimiento o b) en reposo. Mucho más adelante, en 1641, Gassendi causó una profunda sensación al poner en práctica ambos experimentos y publicar los resultados que obtuvo, que en este caso confirmaban la tesis de Galileo. Había en Francia un joven, contemporáneo y admirador de Galileo, llamado Mersenne; a pesar de que era discípulo del gran italiano en materia de

mecánica, los argumentos que habían sido presentados a favor de la tesis de la rotación de la Tierra no lograban convencerle. Tuvo noticia de los «experimentos del pensamiento» de Galileo sobre esta cuestión, y una y otra vez le oímos comentar, en forma muy significativa: «Sí, es cierto, pero el experimento real no ha sido efectuado nunca». Cuando, más adelante, comenzó a inclinarse cada vez más por el sistema de Copérnico, Mersenne reveló que, incluso entonces, la que le atraía era una forma de razonar diferente, un tipo de argumentación perteneciente a un periodo muy anterior a Galileo. Afirmó: «Si pudiera convencerme de que Dios siempre hace las cosas del modo más breve y más sencillo posible, entonces no tendría más remedio que creer que el mundo en efecto se mueve».

Donde más marcadamente se aprecia la Revolución científica y donde mayores son los éxitos palpables que obtiene es en los campos de la astronomía y de la mecánica. En el primero de ellos no podemos creer que el empleo de la experimentación en el sentido vulgar de la palabra hubiera tenido ninguna importancia fundamental. Con respecto a la mecánica, podemos recordar lo que observamos al tratar el problema del movimiento: que parecía razonable decir que los enormes adelantos se debían a la transposición que se estaba efectuando en la mente de los propios investigadores. Aquel era un problema que no podía ser abordado hasta haber sufrido un proceso de «geometrización», de manera que se pudiera suponer que el movimiento ocurría en un espacio arquimédico vacío. Efectivamente, la ley moderna de la inercia —la imagen moderna de que los cuerpos prosiguen su movimiento en línea recta hasta el infinito— no es algo que la mente humana pueda llegar a determinar por medio del experimento, ni mediante ningún procedimiento que afine hasta la perfección la capacidad de observación. Dependía del truco de imaginar un cuerpo puramente geométrico moviéndose en un espacio vacío y neutro —absolutamente indiferente a lo que estaba sucediendo— como una hoja de papel en blanco, igualmente impasible si trazamos sobre ella una línea horizontal o una vertical.

En el caso del sistema aristotélico, la situación había sido muy diferente; no había sido posible olvidar que ciertas partes del universo poseían cierto «poder de atracción». Existían ciertas direcciones que había

que considerar privilegiadas; sin ello, el sistema perdería su base. Todas las líneas tendían a ser atraídas por el centro de la Tierra. En este sistema no era posible hacer la abstracción necesaria y, por ejemplo, trazar una línea recta que representase a un cuerpo que fuese despedido tangencialmente; es decir, desplazándose con determinación y rectitud hacia el espacio infinito. Era necesario que la línea se fuese curvando hacia la parte baja del papel, ya que el propio universo la obligaba a la dirección descendente, arrastrando al cuerpo con fuerza continua hacia el centro de la Tierra. En esta cuestión, ni siquiera Galileo alcanzó la perfección. No llegó al concepto del espacio euclidiano, absolutamente vacío y absolutamente desprovisto de dirección. Este fue el motivo de que no lograse formular a la perfección las leyes modernas de la inercia, porque creía que la ley de la inercia servía solo en el caso del movimiento según una trayectoria circular; era algo en lo que se equivocaba, porque lo que nosotros denominamos «movimiento inercial» tiene que ser un movimiento a lo largo de una trayectoria recta. Cuando hablaba de una bola perfectamente esférica rodando hacia el infinito sobre un plano perfectamente horizontal y liso, demostraba sus limitaciones, porque consideraba que el plano horizontal era equidistante del centro de la Tierra y lo imaginaba como un plano que de hecho envolvía a la Tierra; de esta manera podía considerar aquella clase de movimiento como una forma de movimiento circular. Y aunque, en último término, se daba cuenta de que un cuerpo podía salir despedido según una tangente abandonando su trayectoria circular, en general quizá fuese un poco demasiado «copernicano» hasta en su mecánica; tal vez estuviera demasiado dispuesto a considerar el movimiento circular como la forma «natural» de movimiento, aquello que no precisaba ser explicado. En realidad, en los términos en que se planteaba la nueva física, era precisamente el circular el que pasaba a ser un movimiento «violento» en el sentido aristotélico de la palabra. La piedra que se hace girar en una honda requiere una fuerza constante que la atraiga hacia el centro, y precisa que se ejerza violencia para mantenerla en una trayectoria circular y evitar que salga despedida tangencialmente.

Los sucesores de Galileo procedieron de modo más consecuente en la geometrización de los problemas y trazaron sus diagramas en espacios más

libres, más completamente vacíos y más perfectamente neutros. Algunas veces podemos ver la lucha que la nueva ciencia tuvo que sostener para superar las barreras mentales que se oponían a la consecución de sus propósitos, como cuando se suponía que los dos lados verticales de una balanza eran paralelos y se objetó que tenían que encontrarse en el centro de la Tierra. Era sencillo responder: «Muy bien; olvidémonos ahora del centro de la Tierra, coloquemos la balanza muy arriba, en el cielo, más arriba que el propio Sol. Si es necesario, situémosla a una distancia infinita. Así podremos considerar sin temor que las dos líneas son paralelas». Si se presentía la amenaza de que el diagrama se viese afectado por la acción de la gravedad, dirían: «¡Olvidemos la gravedad! Imaginemos al cuerpo situado en el cielo, donde no hay ni arriba ni abajo; o sea, donde arriba y abajo son tan indiferentes como derecha e izquierda». Era posible sostener: «Seguramente Dios puede colocar un cuerpo en un espacio absolutamente vacío, y nosotros podemos observar sus movimientos en un lugar del universo donde no haya nada que lo atraiga ni lo repela ni que interfiera con él en modo alguno».

El sistema aristotélico no había sido nunca favorable a semejante método dialéctico, que era absolutamente necesario para la «geometrización» de los problemas y que permitía que la ciencia misma diese más cabida al punto de vista matemático. Ni siquiera había sido proclive a algo tan sencillo como el «paralelogramo de fuerzas», aunque Simon Stevin no fuera quizá el primero en emplear este sencillo instrumento, cuando Galileo era todavía un muchacho. El sistema aristotélico había reprobado la idea de los movimientos compuestos y no aceptaba de ningún modo que se tratase matemáticamente la trayectoria que seguiría un móvil cuando un movimiento quedaba superpuesto a otro. Hemos visto que, en el caso de los proyectiles, los peripatéticos se habían negado a considerar siquiera una combinación de movimientos, y en lugar de ello habían preferido pensar que el móvil continuaba su trayectoria en línea recta hasta que se agotaba su movimiento para entonces cambiar bruscamente de dirección y caer verticalmente a tierra. Fue la nueva escuela la que comenzó a curvar la trayectoria del móvil y la que elaboró la teoría de que, en el mundo matemático (que durante algún tiempo llegaron a

confundir con el mundo real), el proyectil describía una parábola. Asimismo, calcularon por procedimientos matemáticos el ángulo a que debía situarse el cañón para que el proyectil tuviese el alcance máximo, dejando que su conclusión fuese comprobada más adelante por medio de experimentos prácticos. Todo esto contribuye a explicar por qué Galileo podía estar en posición de defender lo que él llamaba «método matemático», incluso frente al método experimental de los más destacados peripatéticos. También ayuda a explicar por qué sir Francis Bacon, a pesar de su gran amor al experimento, en cierto modo no se adaptó a su tiempo y demostró haber dejado grietas en sus murallas, por las que le pudo atacar la crítica en el siglo XVII a causa de sus limitaciones en matemáticas. Veía en cierto modo la importancia de las matemáticas —la necesidad de efectuar cálculos basados en los resultados experimentales de la física, por ejemplo — y en una ocasión se pronunció categóricamente a este respecto. Lo que le faltaba era la visión del geómetra, la capacidad de ver cuáles de aquellas cosas eran susceptibles de medición, y saber cómo proceder para reducir un problema dado a uno matemático.

Sin embargo, lo que demostraría ser de importancia fundamental sería la extensión del nuevo método. Tras concebir el movimiento en su forma más simple —aquel que ocurría en un espacio absolutamente vacío y exento de direcciones predilectas, donde nada podía interferir con él y donde no existía medio alguno que pudiera oponérsele—, la nueva escuela podía ahora volver sobre sus pasos y recoger de nuevo lo que había ido abandonando; o más bien tendríamos que decir que se podían permitir incluir cada vez más aspectos de aquellos en el mundo que habían geometrizado e ir preparándolos para un tratamiento matemático de la misma índole. Asuntos como la resistencia del aire, que habían dejado de lado en los primeros momentos de su razonamiento, podían ahora incluirlos en el esquema, pero introduciéndolos de manera distinta; no ya como déspotas, sino como humildes servidores. Todos estos asuntos habían quedado absorbidos por el método matemático y podían ser transformados en problemas geométricos, y se podía aplicar el mismo procedimiento al propio problema de la gravedad. El método que la nueva ciencia había adoptado era tal que llevaba la mente a nuevos campos de interés y sugería

nuevos tipos de experimentación práctica, atrayendo al estudiante hacia cuestiones que nunca hubieran captado la atención del investigador aristotélico. Y las nuevas avenidas que quedaban ahora abiertas a la ciencia, hasta para el experimento, habrían de llevar a las ciencias naturales muy lejos del mundo de los fenómenos del sentido común y de las apariencias corrientes en las que habían centrado la mayor parte de sus pensamientos, no solo los peripatéticos sino también los hombres de la teoría del ímpetu. En particular, la mente iba a ser dirigida constantemente en el futuro hacia aquellas cosas —y se iba a ocupar de aquellos problemas— que pudieran reducirse a la medición y al cálculo. Por tanto, Galileo habló muy directamente cuando dijo que la forma, el tamaño, la cantidad y el movimiento eran las cualidades primordiales que el hombre de ciencia tenía que tratar de examinar cuando comenzaba a estudiar un cuerpo determinado. El sabor, el color, los sonidos y los olores eran cosas que le dejaban relativamente indiferente; afirmaba que no existirían si los seres humanos no tuvieran nariz y oídos, lengua y ojos. En otras palabras, la ciencia iba a limitar su interés a aquellas cosas que permitieran ser medidas y calculadas. El resto de los problemas —los que no pudieran ser reducidos a un tratamiento matemático por el momento— quizá, con el paso del tiempo, pudieran ser reducidos también a dichos elementos fundamentales. Podrían ser traducidos o traspuestos a alguna otra cosa, de tal modo que, al continuar la evolución de la ciencia, podrían llegar a ser medidos y pesados.

De todos modos, lo esencial es que nuestro interés por el método experimental en cuanto tal no haga que pasemos por alto una cuestión de la cual el propio siglo XVII tenía plena conciencia, a saber: la importancia que tenían las matemáticas en la evolución que se estaba desarrollando en aquel momento. Cuando está en duda la interpretación de toda la Revolución científica, hay ciertos hechos que parecen estar relacionados con el problema y que, para el espectador, parecen poseer un carácter notablemente significativo. Ya hemos encontrado varias aspiraciones importantes y varios procesos evolutivos que pertenecen a los siglos XV y XVI, y que eran destellos de un tipo de mecánica más moderna; por ejemplo, los albores de la geometría analítica, discusiones que parecen señalar adelante hacia lo que llamamos «física matemática», y hasta alguna

intuición respecto al valor intrínseco del método puramente cuantitativo aplicado a las ciencias naturales. No obstante, se nos dice que estas tendencias tan interesantes quedaron paralizadas, al parecer, porque la Edad Media carecía de los conocimientos matemáticos necesarios y el mundo tenía que esperar hasta que se hubiera descubierto nueva información matemática del mundo de la Antigüedad durante el Renacimiento. Parece como si en la historia de la ciencia pudiera darse el caso de lo que podríamos denominar «evolución truncada». Se puede cortar una línea evolutiva, incluso antes de que haya empezado a arraigar, si en aquel momento falta una de las condiciones que son un requisito indispensable. De modo parecido, nos enteramos de que el descubrimiento de las leyes planetarias realizado por Kepler fue posible solo gracias al hecho de que heredó, y desarrolló más todavía por su cuenta, el estudio de las secciones cónicas, en el que se hizo famoso en su día. Y no cabe duda de que las observaciones astronómicas de Tycho Brahe no se transformaron en un factor que revolucionase la historia más que cuando la mente matemática de Kepler se puso a elaborar la montaña de material compilado por el gran astrónomo danés. Más adelante vuelve a producirse el mismo fenómeno, y observamos que el problema de la gravedad no habría sido resuelto nunca —nunca habría llegado Newton a su síntesis— si no hubiera podido apoyarse, en primer lugar, en la geometría analítica de René Descartes y, en segundo lugar, en el cálculo infinitesimal del propio Newton y de Leibniz. Así pues, parece como si no solo las ciencias matemáticas hubiesen experimentado progresos notables en el siglo XVII, sino que también en la dinámica y la física las ciencias nos dan la impresión de que estaban ejerciendo una presión constante sobre los límites más lejanos de las matemáticas. Sin los adelantos efectuados por los matemáticos, no hubiera sido posible la Revolución científica tal y como la conocemos.

En líneas generales, es cierto que allí donde se podían aplicar de manera sencilla y directa métodos geométricos y matemáticos —como sucede en la óptica— se hicieron adelantos muy considerables en el siglo XVII. En el periodo al que hemos llegado —los tiempos de Galileo— la aritmética y el álgebra habían alcanzado algo similar al aspecto que, exteriormente, tienen también hoy: por ejemplo, el francés François Viète había establecido el

empleo de letras que representaban números; el flamenco Simon Stevin estaba introduciendo el sistema decimal para sustituir a los quebrados, y varios de los símbolos que le resultan ahora familiares a todo estudiante comenzaron a ser empleados entre el siglo XV y la época de Descartes. Al mismo tiempo empezaban a crearse instrumentos auxiliares del cálculo —algo de la mayor importancia para el estudio de los cuerpos celestes—, tales como los logaritmos que John Napier inventó y perfeccionó entre 1595 y 1614, y otros procedimientos para simplificar la multiplicación y la división; por ejemplo, el ábaco, que en el siglo XVII gozó al parecer de más fama incluso que los logaritmos. Se ha hecho la observación de que, al haber evolucionado por caminos separados el álgebra y la geometría —la primera entre los hindúes y la segunda entre los griegos—, la reunión de ambas, «la aplicación de métodos algebraicos al campo de la geometría», constituyó «el más importante de los adelantos hechos en el progreso de las ciencias exactas». Este suceso ocurrió en tiempos de Descartes, quien adelantó la idea de que las ciencias que trataban del orden y de la medición —ya se refiriese la medición a números, formas, condiciones, sonidos u otros objetos— estaban relacionadas con las matemáticas. «Por tanto, debería existir una ciencia general, las matemáticas —dijo—, que debería explicar todo cuanto pueda averiguarse acerca del orden y la medida, considerado independientemente de cualquier aplicación que de ello se pudiera hacer a un tema determinado.» Afirmó que una ciencia así sobrepasaría en importancia y en utilidad a todas las ciencias que, en realidad, dependían de ella. Kepler decía que, al igual que los oídos están hechos para el sonido y los ojos para el color, la mente humana está hecha para pensar en cantidades, y que está perdida en cuanto se aleja del campo cuantitativo del pensamiento. Galileo decía que el libro del universo había sido escrito en lenguaje matemático, y que su alfabeto consistía en triángulos, círculos y figuras geométricas. No cabe duda de que, tanto en Kepler como en Galileo, las influencias de Platón y de Pitágoras desempeñaron un papel de la mayor importancia.

Si tenemos bien presente todo esto, veremos por qué la experimentación práctica en las ciencias naturales comenzaba entonces a adquirir una dirección, cómo llegaba finalmente a cierta organización con una meta

clara. Durante muchos siglos no había sido más que un caos sin orden ni concierto, casi exento de significado —algo, en muchos aspectos, ajeno al verdadero avance de la comprensión—, constituyendo algunas veces la parte más fantástica y absurda del programa científico. Había habido hombres en la Edad Media que decían que el experimento era lo que tenía verdadera importancia, o que se habían percatado de que, detrás de la filosofía natural de los clásicos, había habido una base de experimentación y observaciones minuciosas. Sin embargo, aquello no bastaba, e incluso en el siglo XVII un hombre como sir Francis Bacon, que insistía en la necesidad de los experimentos, pero que era incapaz de relacionar aquella idea con la necesidad de proceder por el método matemático general que ya he descrito, demostró muy pronto que se había equivocado de miras. En el siglo XIII, un autor llamado Petrus Peregrinus escribió una obra sobre el imán, y muchos de sus experimentos prepararon el camino para el notable libro que escribió sobre el mismo tema William Gilbert en el año 1600. No obstante, por lo que el libro de Gilbert ejerció mayor influencia en el futuro fue por sus especulaciones de carácter cosmológico, basadas en la tesis de que la propia Tierra era un gigantesco imán, y sir Francis Bacon se apresuró a indicar que se trataba de una hipótesis no demostrada por experimentos; la tesis no surgía de los experimentos mismos, como se reconocía por regla general que debía ser. Incluso Leonardo da Vinci mostró cierta tendencia al desorden científico; buscaba por todas partes, sin programa, como un escolar que se interesase por todo, y cuando preparaba un proyecto para una serie de experimentos —como el que ideó para sus estudios del problema del vuelo— salta a la vista que se trataba de una lista de experimentos, pero no relacionados entre sí, como lo estarían en cualquier proyecto experimental moderno. Ni en la Edad Media ni en el Renacimiento se carecía de la pericia técnica ni del ingenio que requiere la investigación moderna, como podemos comprobar si contemplamos los sorprendentes dispositivos que fueron construidos, incluso cuando no había un fin urgente e inmediatamente utilitario que les indujera a ello. Aun así, hasta el siglo XVII no se doma ni se consigue ensillar, por decirlo así, a la experimentación, transformándola en una máquina poderosa y eficaz que

comience a funcionar en aquellos momentos para arrastrar a la ciencia y la técnica en el largo camino que desde entonces ha recorrido.

Aunque uno se interese ante todo por la Revolución científica en cuanto a la transformación de las ideas que supone, no podemos ignorar los cambios más profundos que en el mundo afectan al pensamiento humano o alteran las condiciones en que dicho proceso mental se está llevando a cabo. Estamos comenzando a darnos cuenta de que la historia de la tecnología desempeña un papel más importante en la evolución del movimiento científico de lo que creíamos en un primer momento, y de hecho, la historia de la ciencia no podrá nunca completarse si la limitamos demasiado estrictamente a la historia de las publicaciones científicas. Una parte de la influencia ejercida por la industria y la ingeniería sobre el pensamiento científico es, por ahora, difícil de localizar, y podría ser todavía más difícil demostrarla. Con todo, aparte de la transferencia de ideas y de técnicas de trabajo, tiene que haberse producido un efecto apreciable, de carácter sutil, en la manera en que se abordaban los problemas y en el modo de sentir el hombre las cosas, quizá hasta en sus ideas sobre la propia materia. Una serie de libros famosos del siglo XVI nos ofrecen un relato bastante completo de lo que se había conseguido en cuanto a adelantos técnicos en los diversos campos de aplicación —por ejemplo, en la minería y la metalurgia—, y algunas de estas obras prepararon sin duda alguna el camino para la eclosión de la química moderna, pues nos equivocaríamos si creyésemos que esta surgió tan solo de la alquimia. En este aspecto de la técnica, y especialmente en el campo de la mecánica y de la hidrostática, no cabe duda de la gran influencia de Arquímedes en el curso que siguió la Revolución científica; casi podemos considerarle el santo patrón de los adictos a la mecánica y de los físicos experimentales modernos. Al principio existía un abismo profundo entre el investigador práctico y el pensador teórico. Los navegantes carecían de toda noción de matemáticas, mientras que los matemáticos carecían por completo de experiencia náutica. Los que calculaban la trayectoria de un proyectil, el ángulo de tiro aproximado, solían estar muy lejos de los artilleros, quienes se enfrentaban de veras con el cañón en tiempos de guerra. Los cartógrafos, los topógrafos y los ingenieros eran los que, ya desde mucho antes, precisaban las

matemáticas; los navegantes portugueses habían necesitado de la ciencia como auxiliar cuando comenzaron a navegar al sur del ecuador; William Gilbert mantenía relaciones con navegantes, y Galileo habla de los problemas que surgían en las construcciones navales de los astilleros de Venecia o de los que se presentaban en el ámbito de la artillería y en el bombeo de agua en las minas. En efecto, no nos equivocaremos si pensamos en Galileo como un hombre que repartía su tiempo entre una especie de taller donde mecánicos expertos le ayudaban en el trabajo, construyendo constantemente aparatos —incluso objetos para la venta—, y la realización de experimentos, de forma que encontramos en él al mecánico o al artesano combinado con el filósofo, dando lugar a un tipo moderno del hombre de ciencia.

Se ha dicho que el número cada vez mayor de objetos mecánicos que iban apareciendo por todo el mundo también había conducido a lo que podríamos llamar un interés especializado o una actitud mental moderna; un interés por el problema mismo de cómo funcionaban las cosas y una disposición a mirar a la naturaleza con la misma preocupación mental. Aparte de los casos famosos en los que un experimento estratégico pudiera aportar la solución a un problema particular, Galileo nos da la impresión de un hombre que estaba experimentando tan continuamente que se familiarizó con los movimientos y las estructuras; observó cómo se desplaza un proyectil, el manejo de palancas y el comportamiento de cuerpos esféricos en planos inclinados, de manera que parece conocerlos de forma tan íntima como cabría decir que algunas personas conocen a sus perros, intuitivamente. Y los relojes movidos por ruedas dentadas eran todavía algo sorprendentemente nuevo en el mundo cuando apareció en el siglo XIV la idea de que los cuerpos celestes podían ser algo parecido a un mecanismo de relojería. La propaganda primitiva a favor del movimiento científico insistía de manera notable en los resultados utilitarios que de él se esperaban, y ese fue uno de los motivos en los que se basaron los hombres de ciencia y las sociedades científicas al reclamar el apoyo de los reyes. Algunas veces parece existir una correspondencia muy curiosa entre las necesidades técnicas de la época y la preocupación principal de los investigadores científicos, incluso cuando se nos escapa la forma exacta en

que estaban relacionadas entre sí, o se hace difícil localizarla, como sucede en el caso de la balística en el siglo XVI y quizá en el de la hidráulica del siglo XVII. Una gran parte de los problemas tratados por la Royal Society en sus primeros tiempos se referían a temas de utilidad eminentemente práctica. Y durante un periodo notablemente largo, uno de los aspectos que se les presentaban una y otra vez a los técnicos y a los hombres de ciencia era una cuestión de necesidad inmediata: el problema de encontrar un método eficaz de medir una longitud. No sorprende que una gran parte de la labor de los estudiosos de nuestro tiempo se haya dirigido hacia la historia de la tecnología.

En el siglo XVII hay algo que comienza a cobrar una importancia destacada: la creación de nuevos instrumentos científicos, sobre todo de instrumentos de medición. Es difícil para nosotros darnos cuenta de lo dificultoso que debió de ser trabajar en los siglos anteriores sin disponer de estos aparatos. El telescopio y el microscopio aparecen ya a principios del siglo —y posiblemente fueron ideados algo antes—, y es difícil no considerarlos una derivación de las industrias del vidrio y del pulimento de metales que existían en Holanda. No obstante, el microscopio no fue eficaz hasta bastante tiempo después, al parecer debido a un defecto, no de la técnica industrial como tal, sino de la ciencia de la óptica. Sin embargo, a mediados del siglo se construyó una lente más poderosa, que ayudó a una gran parte de los trabajos que se realizaron en los años que siguieron. Galileo representa un eslabón muy importante en la evolución del termómetro y del reloj de péndulo, y el barómetro aparece a mediados del siglo; sin embargo, durante mucho tiempo no fue posible registrar nada más que los cambios de temperatura, porque no se disponía de una escala digna de confianza que permitiese medirla con exactitud. Hasta el siglo XVIII no existió un termómetro verdaderamente exacto. A mediados del siglo XVII encontramos una vez más un invento henchido de posibilidades futuras, la bomba de aire, y a partir de entonces comenzamos a presenciar el empleo del soplete en el análisis químico. En la primera mitad del siglo, Van Helmont estudió los gases, inventó la palabra «gas» y encontró que existían gases de diversas clases, no solamente aire; aun así, tropezó con la enorme dificultad de que no disponía de medios para conservar y aislar ningún gas

determinado que hubiera deseado estudiar, ni llegó tampoco a la concepción moderna de lo que es un «gas». Cuando consideramos la enorme variación y la naturaleza fantástica de los objetos que abarrotaban un laboratorio de alquimia incluso en el siglo XVI, es posible que tengamos la impresión de que no podría haber sido la falta de conocimientos tecnicoindustriales lo que había retrasado la aparición de algunos de los instrumentos científicos modernos; aunque al parecer, allí donde la pureza y la precisión eran factores decisivos, tanto en la industria vidriera como en la metalúrgica, los adelantos técnicos conseguidos hasta el siglo XVII constituyen un factor que influyó notablemente en el caso. Podemos deducir, por las muchas veces que lo encontramos repetido en libros y en cartas, que el método experimental durante la primera mitad del siglo XVII constituía una seria carga económica para los investigadores. Al avanzar la centuria, cuando las reuniones de hombres de ciencia se fueron transformando en sociedades científicas —la Royal Society en Inglaterra, la Académie des Sciences en Francia y sociedades similares en Italia en una fecha todavía anterior—, ayudaron a sufragar los experimentos. Sus publicaciones y la fundación de revistas periódicas volvieron aún más rápida la comunicación entre los hombres de ciencia y la comparación de los resultados obtenidos. Parece que, hasta mediados del siglo, las publicaciones científicas no adoptaron la forma actual de comunicar los resultados obtenidos experimentalmente y describir el proceso seguido. Algunas veces, como en las obras de Galileo, se demostraba algo por razonamiento puro, aunque posiblemente había sido descubierto en el curso de un proceso experimental.

6
BACON Y DESCARTES

Hoy nos es relativamente fácil seguir con la mente los posibles cambios en las esferas más altas de las diversas ciencias, cambios que de un año para otro pueden ampliar el volumen de estudios de los primeros cursos de una carrera cualquiera. No obstante, no está claro qué harían los patriarcas de nuestra generación si nos viéramos obligados a arrancar de tal modo las raíces de la ciencia, borrando y eliminando por anticuado e inservible todo cuanto de más elemental se dice sobre el universo en la escuela primaria, si tuviéramos incluso que invertir nuestra actitud y tratar, por ejemplo, toda la cuestión del movimiento partiendo desde el extremo opuesto al que hoy solemos utilizar como punto de partida. A principios del siglo XVII se poseía una conciencia más plena que la que tenemos nosotros (en nuestra calidad de historiadores) del carácter revolucionario del momento alcanzado por entonces. Mientras todo se encontraba en el crisol de fundición —cuando ya el antiguo orden había perdido su validez, pero todavía no se había consolidado el nuevo—, el conflicto adquirió características de la mayor virulencia. Los hombres de ciencia clamaban por la revolución; no solo exigían una explicación de las anomalías existentes, sino también una nueva ciencia y un nuevo método. Se adelantaron programas del movimiento revolucionario, y podemos apreciar claramente que había algunos hombres que tenían conciencia plena del inmenso problema al que se enfrentaba en aquellos momentos el mundo entero. No obstante, en cierto sentido demuestran una curiosa falta de discernimiento, porque se dejaban llevar por la idea de que la Revolución científica podía producirse y quedar zanjada en una sola generación. Opinaban que no se trataba más que de cambiar una diapositiva del universo por otra, estableciendo así un nuevo sistema que ocupase el lugar del de Aristóteles. Paulatinamente se dieron

cuenta de que no bastaría una generación, sino quizá dos, para terminar la tarea. A finales del siglo XVII estaban convencidos de que habían abierto el camino hacia un futuro cuyos límites de expansión se perdían en el infinito y de que las ciencias todavía estaban en sus orígenes.

Antes de comenzar el siglo XVII, el estado general de los conocimientos respecto al universo físico había sido la causa de que se dieran toda una serie de sistemas especulativos que, por regla general, no se basaban en datos científicos, sino que se derivaban de diversos elementos tomados de las ciencias de la Antigüedad clásica. Ya en el siglo XVI, además, se había dirigido la atención hacia la cuestión del método científico en general, y en el XVII el problema del método constituyó una de las principales preocupaciones, no solo del hombre de ciencia práctico sino, ya en un nivel más alto, de los pensadores y los filósofos. Los líderes principales del movimiento durante el siglo XVII fueron, en el primer cuarto de la centuria, Francis Bacon, que ensalzó el método inductivo y trató de reducirlo a un sistema de leyes, y René Descartes, cuya obra pertenece principalmente al segundo cuarto del siglo, ya que se diferenció de Bacon no solo por su énfasis en las matemáticas, la reina de las ciencias, sino también por su insistencia en un modo de razonar deductivo y filosófico que, según pretendía, había llevado hasta semejante grado de precisión y rigurosidad que poseía toda la disciplina y la seguridad del razonamiento matemático. Durante los tiempos de Newton, y ya bien entrado el siglo XVIII, se produjo una gran controversia entre una escuela inglesa, que se identificaba en general con el método empírico, y una escuela francesa, que glorificaba a Descartes y que se asociaba más bien con el sistema deductivo. No obstante, a mediados del siglo XVIII los franceses, con un encanto que solo podemos describir como mediterráneo, no solo se sometieron aceptando la opinión inglesa sobre la cuestión, sino que en su famosa *Encyclopédie* fueron incluso demasiado lejos, colocando a Bacon en un pedestal quizá más alto que el que jamás había ocupado hasta entonces. Al parecer, su exceso de amabilidad o caridad produjo cierta confusión en una época más avanzada de la historia de la ciencia.

Durante el siglo XVI, los ataques contra Aristóteles habían sido de lo más frecuentes y en alguna ocasión demasiado duros. En 1543 —un año que, como ya hemos visto, fue de la mayor importancia por lo que a Copérnico y Vesalio se refiere, así como por la resurrección de Arquímedes —, Pierre de la Ramée publicó su famoso *Animadversiones contra Aristóteles*. Esta obra, que Francis Bacon conocía, y que atacaba al Estagirita sin haberle comprendido verdaderamente, ofreció un tercer método que era más bien el de un humanista y profesor de literatura; es decir, estudiar la naturaleza a través de los mejores escritores y aplicar al resultado procedimientos deductivos y silogísticos. En 1581 otro autor, Francisco Sánchez, el Escéptico, publicó un nuevo ataque contra Aristóteles y, exactamente, contra los aristotélicos modernos; en su obra se aprecia un notable anticipo de lo que habría de ser posteriormente la idea cartesiana. Decía:

> Pregunté a los hombres cultos de civilizaciones pasadas; consulté después a los que son mis contemporáneos […], pero ninguna de sus respuestas fue satisfactoria […]. Así que me dirigí a mí mismo y comencé por dudar de todo, como si nadie me hubiera dicho nunca nada. Comencé a examinar las cosas por mí mismo, con el fin de descubrir la manera real de adquirir sabiduría. De ahí la tesis que constituye el punto de partida de mis reflexiones: cuanto más pienso, mayores son mis dudas.

Sánchez atacó el sistema silogístico de la escuela aristotélica vigente porque hacía olvidar a los hombres el estudio de la realidad y les animaba a abandonarse a un juego de sofismas y sutilezas verbales. Prometió exponer el método verdadero de la ciencia, pero en los cincuenta años que vivió todavía, no cumplió nunca su promesa. Uno de los que tomaron parte en la controversia sobre el método científico, Everard Digby, enseñaba lógica en la Universidad de Cambridge cuando Francis Bacon asistía a ella en su juventud, y un investigador alemán ha demostrado que, en ciertos puntos, este último siguió las ideas de aquel.

Bacon sostenía que si bien Adán, debido al pecado original, había perdido para la especie humana el dominio que en principio debería haber ejercido sobre todo lo creado, seguía existiendo una autoridad subordinada sobre la naturaleza, que se podía alcanzar si el hombre trabajaba lo suficiente para afirmarla, aunque la insensatez humana la había echado a

perder. Decía que no se habían producido más que tres cortos periodos de verdadero adelanto científico a lo largo de toda la historia de la humanidad: uno durante la época de los griegos, otro en tiempos de Roma y el tercero estaba ocurriendo en el siglo XVII. En cada uno de los dos periodos más antiguos, la era de progreso científico había estado limitada a dos siglos. Los filósofos griegos de la Antigüedad habían encauzado cabalmente el curso del pensamiento, pero habían aparecido Platón y Aristóteles y habían alcanzado la supremacía precisamente porque, al tener menos peso, se habían podido mantener a flote hasta mucho más lejos en la corriente del tiempo. Habían resistido las tormentas de las invasiones de los bárbaros precisamente porque tenían poco calado y flotaban con facilidad, y Aristóteles, en particular, debía su notable predominio en el mundo al hecho de que, al igual que los sultanes otomanos, había seguido una política de exterminio de sus rivales. Por lo que respecta a los escolásticos medievales, habían poseído «capacidades sutiles y poderosas, abundancia de tiempo libre, y nada más que muy pocos libros a su disposición, quedando sus mentes restringidas a muy pocos autores» y, por tanto, «con una infinita agitación del ingenio, habían tejido con una cantidad muy pequeña de materia real aquellas intrincadas redes del saber que se hacen patentes en sus libros». Bacon se sintió impresionado por el hecho de que el saber científico hubiera alcanzado tan exiguos progresos desde los tiempos de los clásicos. Comienza diciendo que los hombres deberían «dejar de lado todo pensamiento filosófico o, cuando menos, esperar pobres y escasos frutos de él hasta que se elabore una historia comprobada, meticulosamente natural y basada en la experimentación».

> Porque ¿qué finalidad tienen esas creaciones del espíritu y esos inútiles despliegues de fuerza? […]. Todos esos sistemas del universo que han sido inventados, surgidos de la fantasía de cada uno, son como otros tantos argumentos de una obra teatral […]; cada uno filosofa partiendo de la celda de su propia imaginación, como si saliera de la cueva de Platón.

Emplea el término «historia» en el sentido que le damos cuando pensamos en la historia natural, y la considera el receptáculo de una colección de datos que son el fruto de las investigaciones.

Bacon creía que muchos hombres de ciencia habían desbaratado el rumbo de sus investigaciones al permitir que se entremezclara con su labor científica el afán de conocer las causas primeras, tarea que pertenece en realidad a la filosofía y que, según él, corrompe a la ciencia pura, con excepción de la que trata de las relaciones entre hombre y hombre. En cuanto al problema de la educación, opinaba que los escolares tenían que enfrentarse demasiado pronto a la lógica y la retórica, que constituían la crema de las ciencias, pues eran las que ponían orden y método en la materia de todas las demás. Opinaba que hacer que la mente juvenil se aplicara a estas ciencias antes de conocer a fondo las demás era como pintar y medir el viento; por una parte, degradaba a la lógica hasta transformarla en una sofistería infantil y, por otra, hacía que las otras ciencias, en comparación, parecieran algo superficial y ligero. La violencia de su reacción ante las formas anticuadas de abordar la ciencia hizo que Bacon llevase su ataque, en alguna ocasión, más allá de lo que los límites de la prudencia aconsejaban, negando el valor de los silogismos hasta un grado tal que el filósofo moderno no lo podría aprobar, aunque la línea general de ataque era muy comprensible y, en vista de la situación en la que se hallaba el problema en aquellos tiempos, muy útil. Bacon deseaba que el hombre se enfrentase directamente con la naturaleza, que se debatiese con ella tratando de penetrar con su inteligencia en el secreto de su modo de actuar. «Los secretos de la naturaleza —afirmó— se delatan a sí mismos con más facilidad si les atormenta el arte que si pueden proseguir en calma su curso. Es preferible estudiar la materia, su conformación, y los cambios de esa conformación, su propia acción, y la ley de esa acción en movimiento.» No era partidario de un empirismo muerto; decía que los empíricos no eran más que hormigas que iban reuniendo un montón de datos, pero los filósofos naturalistas, de los que todavía había en grandes cantidades por el mundo, eran como arañas, que sacaban de sus propias entrañas el material para sus sutilísimas telas. Opinaba que las ciencias debían adoptar una postura intermedia, como la de las abejas, que extraían alimentos de las plantas y más tarde los elaboraban para sus propios fines. Decía que las interpretaciones de la naturaleza ya existentes se fundaban generalmente «en una base experimental demasiado escasa». «De todos modos —insistía

—, el método experimental que hoy se emplea es ciego y estúpido.» Los hombres lo seguían igual que si fueran colegiales «practicando un deporte». Hablaba de experimentación «inconexa, mal combinada». Decía que los alquimistas tenían ideas preconcebidas de carácter puramente teórico que les imposibilitaban o bien seguir una línea experimental útil o bien sacar conclusiones de valor alguno de los resultados obtenidos. Los hombres, en general, se apresuraban demasiado en las deducciones que obtenían del resultado experimental, y creían que el resto se podía alcanzar por mera contemplación; o se lanzaban al espacio infinito desde una primera deducción demasiado prematura, tratando de acoplarla a las nociones vulgares que habían adquirido antes. Ni siquiera Gilbert, en su trabajo sobre el imán, siguió unidad u orden algunos en sus experimentos; la única unidad que se apreciaba en su tratado era el hecho de que se había mostrado dispuesto a intentar todo cuanto se pudiera probar con un imán.

La convicción más firme de Bacon era que, si los hombres querían alcanzar algo en el nuevo mundo, no les serviría de nada tratar de lograrlo por alguno de los métodos antiguos; tenían que darse cuenta de que precisarían procedimientos y razonamientos nuevos. Subrayó ante todo la necesidad de dar a los experimentos una dirección prefijada —acabar con la experimentación casual y sin coordinar—, e insistió en que se podría llegar mucho más lejos y adquirir conocimientos más sutiles si se organizaba debidamente la experimentación. Está claro que se daba cuenta de cómo la ciencia podía alcanzar más poder si se conseguía desligarla del mundo corriente de los fenómenos de sentido común en el cual, hasta entonces, se había producido casi siempre el debate. Insistió en la importancia de anotar cuidadosamente los resultados obtenidos; cuestión que, como ya hemos visto, comenzaba a adquirir una cierta importancia. Incitó a los experimentadores de los diferentes campos de la ciencia a reunirse, porque con ello lograrían nuevas ideas, y lo que se había adelantado en un campo podría ser de ayuda a la investigación de los demás. A este respecto se anticipó a la idea del profesor Whitehead, quien demuestra que, precisamente en aquel periodo, dominar a la vez diversas ramas de la ciencia podría haber enriquecido a cada una de ellas. Asimismo, parece que

varias sugerencias esparcidas a lo largo de toda la obra de Bacon sirvieron de inspiración a quienes fundaron la Royal Society.

Sucede con frecuencia que, cuando el filósofo comienza a ocuparse del lugar de un hombre como Bacon en la historia del pensamiento, pone mucho énfasis bien en las contradicciones internas que puedan existir en el sistema intelectual en cuestión, bien en lo correcto, desde el punto de vista moderno, de las conclusiones a las que llegó; en este caso se trataría de lo correcto de las predicciones de Bacon respecto al carácter y el método que iba a adoptar la ciencia moderna. Un crítico moderno puede lanzarse a demoler la filosofía del utilitarismo del siglo XIX, si es que merece el nombre de filosofía; pero el historiador, que recuerda todas las inhibiciones que limitaban la acción parlamentaria a principios de aquella centuria, y que no se olvida del alud de legislación que comenzó a aparecer en el segundo cuarto de ese siglo, no puede por menos de darse cuenta de que, en un nivel indudablemente más bajo —en uno subfilosófico—, era necesaria una campaña de primerísimo orden para vencer las inhibiciones y persuadir a todos del hecho indiscutible y de sentido común de que las leyes no podían ser consideradas más que como medios utilitarios para todos, y de que la legislación anacrónica no tenía que ser conservada forzosamente por motivos semimísticos. Es en este punto del análisis del problema —en el campo de lo subfilosófico— donde Bacon posee mayor importancia e interés para la historia, y no tenemos que preguntarnos cuántos, en total, adoptaron literalmente el sistema de Bacon. No nos debe sorprender que incluso en el siglo XVII fueran precisamente los hombres que ocupaban una posición similar a la de Bacon —los lógicos— quienes menos fueron influidos por su idea. No nos debe desconcertar si, hasta en lo más profundo de sus doctrinas, allí donde pretendía demostrar exactamente cómo se podían generalizar los resultados obtenidos por la experimentación, fuera algunas veces menos original de lo que él creía y hasta llegase a equivocarse. En los tiempos en que la campaña contra Aristóteles estaba alcanzando su punto culminante, hizo públicos un programa y un manifiesto, y algunas de las cosas más importantes que en ellos dice carecen de vida para nosotros pero rebosaban de ella en el siglo XVII, porque estaba en lo cierto, y por ese mismo motivo son hoy para nosotros lugares

comunes. No dio lugar a un movimiento baconiano que adoptase todo su sistema, pero estimuló a muchos en alguna cosa que otra y a gente que, como se ve claramente, ni siquiera había leído sus obras completas. Y como los que se dedican solamente al estudio del método están expuestos a cometer errores que evitan los que se dedican a la investigación y la experimentación (por la sencilla razón de que estos últimos no pueden evitar, en la mayoría de los casos, seguir la pista que su intuición y sus investigaciones les han mostrado), no nos sorprenderá que algunos se creyesen discípulos de su método cuando en realidad estaban haciendo algo muy distinto, algo que en ciertos casos era incluso superior. Según sus propias palabras, lo que hizo fue «tocar la alarma que reunió a las inteligencias», y muchos de sus aforismos —sobre todo cuando está diagnosticando las causas de los errores más comunes del pensamiento— serían tan provechosos como estimulantes para los estudiantes actuales de la historia. Paradójicamente, quizá haya algo de verdad en la afirmación de que la influencia de Bacon se demuestra de modo más directo en una parte de las que podríamos llamar «ciencias literarias».

Bacon ha sido atacado porque hay mucho en sus escritos que tiene un marcado sabor aristotélico; pero tenía por fuerza que ser así, ya que su sistema abarcaba todos los campos de la ciencia y de la filosofía. Ha sido objeto de burlas porque muchas de sus creencias sobre la naturaleza eran todavía medievales, pero lo mismo les sucedía al resto de los hombres de ciencia de aquellos tiempos. No solo él creía en la existencia de un espíritu vital en la sangre, también William Harvey, como ya hemos visto. Suponía aspiraciones y disposiciones especiales en los objetos inanimados, o creía que sentían atracciones y antipatías unos hacia otros, igual que Robert Boyle lo creería mucho más tarde, como se desprende explícitamente de su obra. Se le ha criticado porque incluía cuentos de viejas y relatos fabulosos en su compilación de datos, dándoles el mismo valor que a los rigurosamente científicos. No obstante, encargó a los hombres de ciencia que investigasen las fábulas y, en repetidas ocasiones, dice textualmente que espera que muchos de los datos por él recabados perderían su valor o tendrían que ser corregidos a causa de investigaciones futuras. Cometió errores de bulto al buscar el punto de partida de la investigación científica,

así como en la ordenación de sus catálogos de hechos conocidos, y también cuando realizó experimentos y avanzó hipótesis, porque estaba escribiendo cuando todavía no se conocían ni la física moderna, ni la química, ni la astronomía ni la fisiología. La ciencia equivocada del pasado siempre le parece superstición ciega al futuro, y Bacon, en repetidas ocasiones, no consiguió verse libre de los prejuicios existentes ni, en otras, evitar que su imaginación se lanzase a suposiciones fantásticas. No obstante, se daba cuenta de antemano de la posibilidad de equivocarse y decía que no tenía mucha importancia si sus experimentos eran erróneos, «pues así tiene que ser en los principios». Lo que sí afirmaba era que sus compendios eran de mayor utilidad que el saber científico del que se disponía hasta entonces. Además, reiteraba una y otra vez que no pretendía más que ofrecer hipótesis que otros pudiesen investigar; decía que, aunque fuesen equivocadas, serían útiles. En una ocasión observó que era todavía demasiado pronto para dar una opinión sobre cierto problema, pero que quería dar la suya por lo que valiese, pues si no lo hacía podría parecer cobarde. En otra ocasión dijo:

> No me pronuncio sobre nada; establezco y prescribo, pero solo provisionalmente […]. Algunas veces intento dar una interpretación […] pero ¿qué necesidad tengo yo de orgullo ni de impostura si he señalado tantas veces que todavía no disponemos de suficiente historia ni de experimentos en la cantidad necesaria, y que sin estos dos requisitos no se puede llegar a la interpretación de la naturaleza y que, por tanto, basta por mi parte que ponga la cuestión sobre el tapete?

Si buscamos las raíces del error que había en él —la causa que había, quizá, tras las otras causas—, las encontraremos en su suposición de que el número de fenómenos, incluso el número de experimentos posibles, era limitado, de modo que podía esperarse que la Revolución científica ocurriera pocos lustros después. «Los fenómenos particulares de las artes y de las ciencias no son, en realidad, más que un puñado —dijo en una ocasión—; la invención de todas las causas y de todas las ciencias no sería cuestión más que de unos pocos años de trabajo.» Creyó que podía hacer catálogos de hechos, de los experimentos necesarios y de las hipótesis sugeridas, y mientras que por una parte estaba convencido de que toda la evolución de las ciencias quedaría detenida si no presentaba él su guía, por otra algunas veces hablaba como si, una vez acabado su compendio, la labor de la ciencia hubiera de reducirse a seguir ciertas reglas sencillas. No

obstante, ni siquiera en esto era tan poco flexible como algunos han creído, ni tampoco tan ciego para no ver la importancia de las hipótesis. Si bien creía que su función era suministrarlas, añadía que, a quien investigase, se le irían ofreciendo otras nuevas en el curso de su trabajo.

Bacon creía que se podía generalizar partiendo de los resultados experimentales y que estas mismas generalizaciones indicarían el camino hacia nuevos experimentos. Al parecer previó de un modo peculiar, pero muy significativo, la estructura que adoptaría la ciencia en el futuro, como quizá ilustre mejor un ejemplo indicado en una conferencia del profesor Broad. Bacon pensaba que, en el primer nivel inmediato, las generaciones o los axiomas que podían deducirse del experimento eran todavía demasiado rudimentarios, estaban demasiado próximos a los hechos concretos para que pudieran ser de verdadera utilidad. El conocimiento es limitado si solo sabemos que podemos producir calor mezclando agua y ácido sulfúrico, y el conocimiento no nos servirá de gran cosa si no disponemos de estas dos sustancias. Sin embargo, las generalizaciones más elevadas están fuera de nuestro alcance, están demasiado próximas a Dios y a las causas primordiales; tenemos que dejarlas para el filósofo. Los axiomas intermedios son los realmente «verdaderos, sólidos y llenos de vida», dice Bacon; son las generalizaciones de cierta altura que pueden ser alcanzadas por el método de elevarnos hasta ellas desde abajo. Si sabemos que el factor que produce el calor es el movimiento violento de las moléculas, poseeremos una generalización más amplia que incrementará mucho nuestro poder sobre la naturaleza. Dicho sea de paso, Bacon observa que existen ciertas cosas que han llegado a sernos tan familiares, o que se aceptan tan automáticamente, que se suelen tomar como evidentes por sí mismas, aunque son precisamente estas las que más precisan ser examinadas de nuevo. Especifica, por ejemplo, las causas de la gravedad, la rotación de los cuerpos celestes, el calor, la luz, la densidad y la formación orgánica. Demuestra alguna perspicacia al reconocer que el progreso de la ciencia deberá consistir en investigar siguiendo líneas como las citadas.

Donde Bacon perdió completamente el contacto con el tipo de ciencia que iba a surgir con Galileo fue en las matemáticas, y en especial en la geometría. No deberíamos exagerar su error. En un lugar dice: «El mejor

modo de abordar la investigación de la naturaleza es aplicando las matemáticas a la física», y en otro: «Si la física mejora de día en día, deduciendo nuevos axiomas, necesitará cada vez más la ayuda de las matemáticas». Por otra parte, consideraba a las matemáticas simplemente como siervas de la física, y llegó a quejarse del predominio que comenzaban a ejercer sobre esa ciencia. Estaba muy bien aquello de efectuar sumas con los resultados de los experimentos realizados, pero Bacon disentía en especial del método empleado por Galileo de transformar el problema del movimiento, de la forma que ya hemos visto, en uno de cuerpos geométricos, moviéndose en un espacio geométrico. Muy lejos de desear olvidarse de la resistencia del aire en la forma en que lo estaban haciendo los hombres de la nueva escuela, lo que quería era añadir nuevas cosas a la imagen; por ejemplo, las tensiones que forzosamente tendrían que producirse dentro del propio móvil. Muy lejos de desear abstraer y aislar un aspecto cualquiera de un problema científico, de forma que el movimiento pudiera ser considerado una línea trazada en un espacio geométrico, lo que trataba de hacer era restituir al problema cuanto tenía de concreto y captar una imagen que incluyera la resistencia del aire, la gravedad y la contextura interna del propio móvil. Incluso en el caso de los cuerpos celestes, desaprobaba el estudio puramente geométrico del movimiento, y afirmaba que el investigador no debía pasar por alto la cuestión del tipo de materia de que estaban hechos los planetas. Con respecto a los proyectiles, rehusó aceptar tanto la teoría de Aristóteles de que el movimiento lo causaba el desplazamiento del aire como la teoría del ímpetu, que había sido su principal rival hasta entonces. Adelantó la hipótesis de que si el movimiento continuaba después de un impacto, se debía a la acción de las fuerzas y las tensiones internas que se habían producido en el momento del choque.

No cabe duda de que es importante, al estudiar a Bacon, no solo conocer el esqueleto de su sistema, sino también observar de qué manera trata los problemas de una rama cualquiera de la ciencia. Y no es suficiente tomar nota de si estaba en lo cierto o si se equivocaba de acuerdo con las opiniones de hoy; debemos saber en qué punto se encontraba entonces cada una de las ciencias en los tiempos en que él escribía y averiguar exactamente cómo se movía a lo largo de sus confines. Hay un punto que

podría servir en este momento para discutirlo de manera provechosa, pues está íntimamente ligado con problemas que ya hemos tratado de modo general: el que se refiere al problema de los cielos. Es aún más interesante por el hecho de que Bacon se ve rechazado muchas veces, sin más miramientos, por sus prejuicios anticopernicanos.

Bacon comienza diciendo al respecto:

> Por tanto, voy a construirme una teoría del universo de acuerdo con la medida de la historia [los hechos establecidos] tal y como los conocemos hoy; no obstante, dejaré mi mente abierta en todos los puntos para los tiempos en que la historia y, por medio de esta última, mi filosofía inductiva hayan avanzado más.

Más tarde dice:

> No obstante, repito una vez más que no pretendo ligarme indisolublemente a estas, pues en ellas, como en otros asuntos, estoy seguro de mi camino, pero no de mi posición. Las he introducido como un inciso para evitar que se diga que prefiero las respuestas negativas a causa de lo vacilante de mi juicio o de mi incapacidad de afirmar.

Bacon arguye que hay muchos sistemas astronómicos que se podrían postular y que cubrirían todos los hechos conocidos. Uno es el ptolemaico y otro el de Copérnico. Ambos explican los movimientos observados, pero Bacon prefiere el sistema de Tycho Brahe, el sistema intermedio que hace que algunos planetas giren alrededor del Sol y que todos ellos juntos giren alrededor de la Tierra; sin embargo, lamenta que Tycho Brahe no desarrollase las matemáticas de su sistema y no demostrase en detalle su forma de funcionar. «Es fácil ver —nos dice— que tanto los que creen en el movimiento de la Tierra como los que se aferran al *primum mobile* y la antigua construcción, encuentran el mismo apoyo indiferente en los fenómenos observados.» No obstante, él, personalmente, prefiere la idea de que la Tierra está en estado estacionario, «porque me parece ahora que esa es la opinión más verdadera», afirma. Pese a todo, deja que sea el lector quien responda a la pregunta de si existe un sistema universal con un centro fijo o si las esferas particulares de la Tierra y de las estrellas están dispersas, cada una, como dice él, «en sus propias raíces» o como «innumerables islas en un mar inmenso». Incluso si la Tierra gira, ello no significa

necesariamente que no exista un sistema en el universo, señala, porque hay planetas que giran alrededor del Sol. Sin embargo, aunque la rotación de la Tierra es una idea ya antigua, la opinión de Copérnico de que el Sol está inmóvil en el centro del universo le parece a Bacon que no tiene precedentes. Está dispuesto a preguntar si no habrá muchos centros del universo distintos haciendo que los cuerpos celestes estén agrupados, de modo que se los pueda imaginar como grupos aislados de gente ejecutando danzas independientes unas de otras. Se enfrenta al problema, que ya hemos tratado, relativo a la doctrina moderna de la inercia diciendo: «Que nadie espere poder resolver la cuestión de si es la Tierra o son los cielos los que giran en su movimiento diurno antes de haber comprendido la naturaleza del movimiento espontáneo». En cierto pasaje nos explica que no le agrada el movimiento de la Tierra porque priva a la naturaleza de toda quietud, de toda inmovilidad. Nos dice una y otra vez que, en lo tocante al aspecto matemático, el sistema de Copérnico es satisfactorio, pero tropieza con el obstáculo que, como ya hemos visto, constituye la dificultad más recurrente hasta los tiempos de Galileo: todavía no se ha podido hacer concordar la hipótesis copernicana con los conocimientos generales en materia de física. Bacon repite que los astrónomos matemáticos nunca podrán resolver el problema por sí mismos. Dejemos, pues, que progrese la observación de los cuerpos celestes —nos encontraremos mucho mejor cuando podamos disponer de una geometría exacta de los cielos— y la vertiente matemática del trabajo tendrá que encajar, sin duda alguna, en los descubrimientos de las ciencias físicas. En el aspecto matemático, las cosas por el momento avanzan, en particular con los nuevos instrumentos ópticos, pero se precisan una mayor constancia de observación, una mayor severidad en el enjuiciamiento y más testimonios que confirmen lo observado, y cada uno de los hechos particulares tiene que ser contrastado de diversos modos. No obstante, el punto más débil estriba todavía en la física. El investigador tendría que poder averiguar de qué materia están hechas las estrellas, saber algo más de los apetitos y del comportamiento de la materia misma, que tiene que ser básicamente igual en todas las regiones del cielo. Bacon se niega a aceptar la opinión de que los cuerpos celestes estén hechos de una sustancia inmaculada libre de cambios y a salvo de las fuerzas corrientes de

la naturaleza. Sostiene que no fueron las Sagradas Escrituras, sino una arrogancia pagana, lo que dio a los cielos la prerrogativa de ser incorruptibles. También nos dice: «No me afirmaré sobre este artificio de elegancia matemática que es la reducción del movimiento a círculos perfectos». Dispersadas a lo largo de sus obras, encontramos muchas referencias a los descubrimientos telescópicos de Galileo. Acepta todos los datos empíricos que dan esas observaciones, pero no las teorías del pisano, aunque le cita para secundar su opinión de que el efecto de la gravedad disminuye conforme se aleja uno de la Tierra. Cuando analiza el problema de las mareas dice que si suponemos que el movimiento de la Tierra es el que las produce, surgen ciertos corolarios, aunque él no sea partidario de las teorías de Galileo a este respecto. Opina que los cielos y las estrellas más lejanas se mueven rápidamente en un círculo perfecto, pero que, conforme nos vamos aproximando a la Tierra, los propios cuerpos celestes se van volviendo más térreos y se mueven en un medio más resistente. Al irse haciendo las cosas más pesadas y más bastas a medida que nos aproximamos a las regiones mundanas, su movimiento va disminuyendo en proporción con esta proximidad y al ocupar un lugar más bajo en los cielos. Lo que parece ser el movimiento de los planetas en una dirección no es más que una ilusión óptica fruto de que están mucho más lejos que los más altos cielos y las estrellas más lejanas; no representa más que un retraso en ese movimiento circular, aparentemente común a todos ellos. No solo se reduce la velocidad, también se abandona el movimiento circular conforme se va descendiendo por los cielos y se aproxima uno a la Tierra material y basta. El resultado final es que en los cielos se produce un efecto de espirales, y Bacon aparenta sorprenderse con la pregunta de por qué no se ha pensado todavía nunca en la espiral, puesto que representa un movimiento circular inicial que se aleja continuamente del círculo conforme va descendiendo a espacios más densos. En su opinión, las mareas son los últimos efectos débiles de la revolución total de los cielos alrededor de la Tierra en estado de reposo.

Este era el sistema celestial de Bacon, aunque, como ya hemos visto, no era más que una hipótesis provisional, pues no creía que hubiera llegado aún el momento de elaborar una síntesis general. No obstante, vemos

claramente que desde el punto de vista de aquellos tiempos, su labor fue fundamentalmente de estímulo, sobre todo por las pruebas que nos da de la extraordinaria flexibilidad de su mente, y que influyó en muchos hombres de ciencia, aunque al final los trabajos de estos no recordasen para nada a Bacon; su influencia sirvió para volver a los demás mejores de lo que lo era él, para hacerlos algo mejor que simples seguidores de Bacon. Las numerosas traducciones de sus obras al francés en la primera mitad del siglo XVII demuestran que despertó un fuerte interés al otro lado del canal.

En René Descartes, que vivió de 1596 a 1650, encontramos un sistema de pensamiento mucho más intenso y concentrado, y entrelazado de forma mucho más intrincada. Veremos que este hombre, al igual que Galileo, vuelve a aparecer en diversos aspectos en la historia de la Revolución científica, extendiéndose sobre todo lo que queda del siglo XVII. Lo que de momento atrae nuestra atención es una obrita, apenas más que un opúsculo, titulada *Discurso del método*, que es uno de los libros de importancia crucial para nuestra historia intelectual. Para el historiador, su gran significado no estriba en el par de pasajes filosóficos o en su disquisición sobre las matemáticas, sino en su vertiente autobiográfica. En este aspecto influyó en el mundo entero, y no solo en los que habrían de adoptar la filosofía cartesiana.

Estaba escrito en francés, porque Descartes quería dirigirse a las mentes abiertas de los que no estaban pervertidos por las tradiciones escolásticas. Los que no lo leyeron en profundidad, como los filósofos, sino a la manera de los que leen libros, comprenderán mejor que cualquier filósofo la importancia y la influencia de Descartes en la historia general. Quizá más importante que todo lo que se proponía el autor sea la manera en que se malinterpretó el libro, y el mismo Descartes se queja en sus cartas y en el libro de lo mal que ya entonces se le entendía. Dice en el *Discurso* que, cuando oye cómo se repiten sus ideas, las encuentra tan cambiadas que no consigue reconocerlas como propias; una observación que ha de llegar al corazón de cualquier autor. Protesta contra los que creen poder dominar en un solo día las cosas que a él le había costado doce años pensar en detalle. En el *Discurso* explica que había llegado a sentir que todas las ciencias que le habían enseñado en su juventud no le habían dicho en realidad nada;

como las diversas opiniones que apoyaban los hombre de distintos lugares del mundo no solían ser más que el resultado de una tradición y unas costumbres. El libro es muy intenso en su aspecto autobiográfico, escrito por un hombre que, tras una ardua labor, decidió que tenía que deshacerse de todas las opiniones antiguas y empezar a reflexionar desde la raíz.

Bacon había hablado de la necesidad de disponer de «mentes limpias de toda opinión», pero Descartes fue más lejos en su determinación de desembarazarse de toda enseñanza transmitida desde el mundo de la Antigüedad, en su determinación de dudar de todo y volver a comenzar completamente de cero, sin ningún punto de apoyo más que su conciencia de que yo, que dudo, tengo que existir, incluso aunque puedo dudar de si estoy dudando. Los que nunca comprendieron las enseñanzas positivas de Descartes y nunca hubieran podido llegar a su filosofía, apreciaron su dramática negación de los sistemas y de las ideas heredadas. Y aunque él mismo dijo que derrocar toda tradición no era algo que pudieran permitirse hacer todos y cada uno de los hombres, aunque advirtió del peligro de las imitaciones de los escépticos —porque, de hecho, Descartes tan solo dudaba para encontrar una base más firme para las creencias o para la certidumbre—, la influencia ejercida por el sistema de la duda metódica fue a la larga de suma importancia por su faceta destructiva y para las ideas en general. El no comprender a Descartes se volvió más fácil por cuanto, de hecho, el *Discurso del método* no tenía que ser más que una introducción al verdadero estudio sistemático del problema del método. El ensayo era un prefacio para tres tratados —la *Dióptrica*, el *Meteoros* y el *Geometría*—, y la intención de Descartes era desarrollar la idea de su método ilustrándolo en acción, demostrando cómo actuaba en casos concretos o, lo que es lo mismo, en las diversas ramas de la ciencia. En su tiempo fueron aquellos tres tratados los que produjeron mayor sensación y los que más atención merecieron, pero el mundo se cansa pronto de la ciencia anticuada, de modo que aquellas partes de la obra perdieron pronto su importancia inicial y el *Discurso del método*, que constituye una lectura estimulante en cualquier momento, fue destacando entre los ensayos cuyo prefacio constituía y adquirió relevancia por sí mismo.

Descartes creía que la capacidad esencial de ver la razón estaba distribuida por toda la humanidad sin diferencia alguna de grado, aunque pudiera verse enturbiada por los prejuicios o las ilusiones de la imaginación. Estableció lo que en los tiempos modernos pasó a ser el gran principio del sentido común, porque si insistió en algún punto más que en ningún otro fue en su tesis de que «todo aquello que podamos concebir clara y distintamente es cierto». Si digo «pienso, luego existo», en realidad no estoy deduciendo nada; estoy enunciando una especie de percepción intuitiva de mí mismo, una percepción tras la cual no puede haber nada. Más allá de eso, si digo «tengo un cuerpo» me expongo a ser llevado a error por imágenes y nieblas; la imaginación visual es precisamente aquello de lo que no nos podemos fiar. Quienes decían: «Creo en mi cuerpo porque lo veo claramente, pero no veo a Dios», estaban tergiversando a un Descartes popularizado para unos fines que eran diametralmente opuestos a los que él perseguía. En el sistema cartesiano, Dios constituía otra de esas ideas claras que, en la mente, son más claras y más precisas que nada de lo que se vea con los propios ojos. Además, todo dependía precisamente de la existencia de un Dios perfecto y justo. Sin él, el hombre no podía fiarse de nada, no podía creer en un teorema de geometría, porque él era la garantía de que no todo era una ilusión, de que los sentidos no eran más que un engaño y de que la vida no era nada más que un sueño.

Partiendo de este punto, Descartes estaba dispuesto a deducir de Dios todo el universo, dejando cada nueva deducción tan clara y perfectamente demostrada como un problema geométrico. Estaba decidido a conseguir una ciencia tan perfectamente bien demostrada y entrelazada, tan perfectamente ordenada, como las matemáticas; una ciencia que, con respecto al universo material (y dejando de lado el alma y el aspecto espiritual de las cosas), fuera capaz de producir un mecanismo perfecto. Una de sus contribuciones más notables a la Revolución científica fue quizá esta visión suya de una ciencia única y universal, tan unificada, tan ordenada y tan entrelazada. Llevó tan lejos la unificación que afirmó que una sola mente sería capaz de concebir la totalidad del sistema; durante algún tiempo se dejó llevar por la esperanza de que sería capaz de ejecutar por sí solo toda la Revolución científica. Cuando otros se ofrecieron a ayudarle con experimentos, se

sintió tentado de responder que sería mejor que le dieran dinero para poder realizarlos él mismo.

Por tanto, la física de Descartes depende de un modo particular de su metafísica; tan solo da los estadios inferiores de un sistema jerárquico que parte del mismo Dios. Descartes está dispuesto a elaborar todo un sistema del universo, partiendo de la materia (o de lo que los filósofos llaman «extensión»), por un lado, y del movimiento, por otro. Todo tenía que ser explicado matemáticamente, bien por su configuración, bien por su número. Su universo, admitiendo en primer lugar la extensión y el movimiento, se basaba de tal modo en leyes que, con independencia del número de universos que Dios hubiera creado —siendo indiferente lo distintos que hubieran sido entre sí al comienzo—, según él tenían que convertirse en universos como el que habitamos por el mero efecto de la actuación de las leyes sobre la materia primigenia. Incluso si Dios hubiese creado en un principio un universo diferente, se habría transformado por sí mismo en el universo que ahora existe. Incluso si hubiera hecho la Tierra en forma de cubo, esta se habría transformado en una esfera por rotación. La más importante de las leyes del sistema físico de Descartes quizá sea la que se refiere a la invariabilidad de la cantidad total de movimiento en el universo. El movimiento dependía en último término de Dios, y la ley sobre la invariabilidad de la cantidad de movimiento era un corolario lógico de la inmutabilidad de Dios. Se podría pensar que Descartes hubiera podido llegar a esta ley u otra parecida por medio de la observación y la experimentación, o cuando menos tomándola como hipótesis posible y descubriendo *a posteriori* que en efecto era así, que se podía aplicar en la práctica. Pero eso no le hubiera bastado nunca, porque nunca habría alcanzado de esta manera la demostración absoluta, la que excluyera cualquier otra alternativa; lo cual era, precisamente, lo que pretendía alcanzar con su sistema. Lo que buscaba era la certidumbre de una demostración deductiva y casi geométrica, y tenía que llevar el problema hacia atrás, hasta Dios, de modo que su física tenía que depender de su metafísica. Al estudiar la cuestión con los ojos del geómetra, y al concebir el movimiento, por tanto, desde su aspecto casi exclusivamente cinemático, Descartes quedaba expuesto a las criticas de quienes afirmaban que su

sistema sufría de anemia con respecto a las cuestiones relacionadas con la dinámica. Su ley sobre la conservación del momento demostró no ser adecuada, y tuvo que ser sustituida por la de la conservación de la energía.

En el *Discurso del método* nos dice que, partiendo de una o dos verdades primarias que había podido establecer, llegaba a demostrar la existencia de los cielos, la Tierra y las estrellas, así como la del agua, el aire, el fuego, los minerales, etcétera, por medio de razonamientos según el método deductivo. Cuando se iba más lejos que esto, hasta las operaciones más detalladas de la naturaleza, necesitaba que el experimento le mostrase de qué forma, de las varias posibles en su sistema, producía Dios ciertos efectos; o para descubrir cuál de los efectos —entre toda la gran cantidad de alternativas que, según su filosofía, eran posibles y explicables— había Dios decidido que se produjese.

Por tanto, el experimento no ocupaba en el sistema cartesiano más que un lugar subordinado, y a finales del siglo XVII el famoso físico Huygens, que criticaba a Bacon por sus matemáticas deficientes, se quejaba de que las teorías de Descartes no habían sido suficientemente confirmadas por la experimentación. La belleza y la unidad del sistema cartesiano residían en el hecho de que, por una parte, comenzaba en el propio Dios, abriéndose camino hacia abajo mediante un sistema de razonamientos del que se afirmaba que era absolutamente inatacable, mientras que, por otra, se elevaba desde abajo, extrayendo axiomas o generalizaciones de los resultados experimentales. No obstante, se aprecian indicios de que Descartes empleaba algunas veces el experimento para confirmar una idea o una hipótesis, aunque interrumpía muy pronto la investigación y se negaba a efectuar nuevas observaciones, incluso cuando pudieran haber afectado al caso de modo más o menos directo. Le preocupaba mucho menos establecer un hecho que explicarlo; lo que perseguía era demostrar que, suponiendo que algo fuese en verdad así, su sistema podía dar la explicación correspondiente, y realmente este sistema habría explicado el caso, suponiendo que Dios, en un momento u otro, hubiera optado por otra alternativa que hubiera estado a su alcance. Así, en su tratado sobre los *Meteoros*, que era una de las obras que seguían al *Discurso del método*, se mostraba dispuesto a explicar cómo las nubes podían llover sangre, como se

decía algunas veces, y cómo el rayo podía transformarse en una piedra. De hecho, confesaba que prefería aplicar su método a la explicación de los fenómenos aceptados generalmente antes que emplear el experimento para encontrar fenómenos nuevos o sucesos fuera de lo normal. Muchos de los «hechos» por él aceptados, como los que acabo de mencionar, fueron tomados en realidad como tales sin haber sido examinados antes por los autores escolásticos. Aceptaba la idea de la circulación de la sangre, pero discrepaba de Harvey sobre la causa y en cuanto a la acción del corazón. Decía que cuando la sangre era absorbida hacia el corazón, se calentaba tanto que entraba en efervescencia, produciendo la expansión del corazón, y que pasaba a las arterias por su propio impulso. En este caso la verdad era que aceptaba inconscientemente, y sin examinarla a fondo, la suposición escolástica de que el corazón actuaba como centro calórico.

Los hombres influidos por Bacon se sintieron afectados principalmente por la tesis de que el experimento era lo que mayor importancia tenía en las ciencias naturales. Y Robert Boyle, que demuestra claramente haber sufrido su influencia, fue criticado por Huygens y otros por haber sacado tan poco partido al gran número de experimentos que registró. Los fundadores de la Royal Society estaban bajo la misma influencia general, y en las actas de los primeros tiempos de la sociedad se aprecia una verdadera furia experimental, no solo de experimentos de los que hoy denominaríamos científicos, sino también respecto a curiosidades y prodigios de la naturaleza y a la invención de toda clase de instrumentos y dispositivos técnicos, algunos de ellos sin otra finalidad que comprobar cuentos de viejas. No obstante, en la síntesis de Descartes, como veremos más adelante, encontramos la economía y la austeridad de un sistema deductivo de alta concentración. Al mecanizarse, anticipó la estructura que habría de adquirir la física del futuro. Con todo, la combinación del método experimental con el matemático desarrollada en Inglaterra habría de desterrar a la ciencia natural de Descartes antes de que hubiese finalizado el siglo XVII.

7
EL EFECTO DE LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA EN LAS CIENCIAS NO MECÁNICAS

Ya hemos señalado que los dos temas de estudio alrededor de los que giró la Revolución científica fueron la astronomía y la mecánica. Representan los dos campos en los que se produjeron los cambios más drásticos y se hicieron los progresos más notables durante el siglo XVII. Si consideramos el asunto desde cierto punto de vista, cabe tener en cuenta la sugerencia de que, posiblemente, la astronomía estaba madura para aquella evolución, debido a que se trataba de la más antigua de las ciencias, y que, por tanto, las observaciones se habían ido acumulando durante miles de años, haciendo que el proceso de revisión tuviera forzosamente que llegar, antes o después, a exigir una nueva síntesis. Al mismo tiempo, podemos tener la impresión de que la ciencia de la mecánica ocupaba una posición ventajosa, puesto que se trataba de una rama del saber en la que se podían alcanzar grandes resultados por procedimientos sencillos, como observar unas esferas rodando por planos inclinados. Sin embargo, si lo consideramos desde el extremo opuesto, podemos decir que aquellas dos ciencias se vieron estimuladas a avanzar porque, en ambos casos, se encontraron ante un obstáculo muy difícil que había que vencer precisamente en aquel momento de la historia. En el primer caso, estaba la dificultad de llegar a una concepción correcta del movimiento simple; en el segundo, la dificultad particular de concebir o explicar el movimiento de la propia Tierra. En ambas ciencias se adivinaba que, una vez vencido aquel obstáculo enorme, se encontraría el camino abierto para una cantidad asombrosa de nuevos adelantos. Quizá la evolución de las matemáticas y de la costumbre de reducir los problemas a términos matemáticos influyera mucho, no solo en la Revolución científica en general, sino en especial en la superación de los

dos obstáculos tan importantes a los que hemos aludido. Parece como si, efectivamente, sea cierto en ambos casos que toda la historia del pensamiento se habría de ver afectada por este nuevo estudio del movimiento —tanto si se trataba del movimiento de los cielos como del de la Tierra—, que constituyó el punto culminante de las ciencias del siglo XVII. Aquel siglo iba a ser testigo, uno tras otro, de muchos intentos de explicar muchos más fenómenos que el movimiento, incluso de tratar de interpretar todos los cambios del universo físico en función de un sistema puramente mecánico. La idea de un universo máquina fue la gran contribución de la ciencia del siglo XVII a la era racional del XVIII.

Nunca es fácil —ni aun suponiendo que sea posible— pensar que se ha llegado realmente al fondo de un problema, o que se ha alcanzado el límite último de la explicación, cuando se estudia una transición histórica. Siempre parece que los cambios de perspectiva más fundamentales, los giros más notables de la corriente de los hábitos intelectuales, pudieran ser atribuibles en último término a una alteración de los sentimientos del hombre hacia las cosas, una alteración tan sutil, y al mismo tiempo tan penetrante, que no puede ser achacada a ningún autor en especial ni a una influencia determinada del pensamiento académico en cuanto tal. Cuando a comienzos del siglo XVI un inglés pudo escribir sobre el clero y decir que era escandaloso ver cómo la mitad de los súbditos del rey eludían sus deberes de lealtad a la corona —al quedar al abrigo de las leyes del país—, sabemos que estaba registrando un cambio en los sentimientos que albergaba el hombre hacia el estado territorial; cambio que adquiere mayor relevancia porque el hombre mismo no se percataba de que estaba sucediendo algo nuevo. Tras la historia de la Revolución científica, una revolución que algunos han tratado de explicar en función del cambio sufrido por los sentimientos del hombre hacia la materia, se aprecian cambios sutiles como este, que no son el resultado de una obra individual, sino de la nueva contextura de la experiencia humana en una nueva época.

Estaba ya bastante claro en el siglo XVI, y sin duda alguna en el XVII, que por el cambio sufrido en el uso habitual de ciertas palabras, ciertos aspectos de la filosofía natural de Aristóteles habían adquirido por entonces un significado más vulgar y comenzaban a ser interpretadas mal. Quizá no

sea fácil decir por qué había sucedido algo así, pero los hombres delatan inconscientemente el hecho de que una tesis aristotélica determinada ha perdido, sencillamente, todo su significado para ellos; no pueden ya pensar en las estrellas y los cuerpos celestes como cosas ingrávidas, por mucho que el libro les diga que es así. Francis Bacon no parece ser capaz de decir nada, fuera de que es obvio que los cuerpos celestes poseen el mismo peso que cualquier otra clase de materia que nos encontremos en el curso de nuestra experiencia. Bacon dice, además, que es incapaz de imaginarse a los planetas fijados a esferas cristalinas, y toda la idea le parece todavía más absurda si las esferas en cuestión están compuestas de esa materia etérea y líquida que había imaginado Aristóteles. Entre la idea de una piedra que aspira a alcanzar su sitio ideal en el centro del universo —y que se da más prisa conforme se va acercando a su hogar natural— y la idea de una piedra acelerando su caída por la fuerza constante de la gravedad, hay una transición intelectual en la que, en un punto u otro, se enlaza un cambio en los sentimientos del hombre respecto a la materia. Como ya hemos visto, también se había producido un cambio en la actitud del hombre ante el movimiento, aunque no fuera más que porque Aristóteles, al pensar en la forma más sencilla de movimiento, se imaginaba un carro arrastrado por un caballo, mientras que la Edad Moderna tenía buenos motivos para centrar su atención en un proyectil, lo cual significaba un cambio fundamental en el modo de afrontar el problema.

De modo semejante, un cambio intelectual muy sutil le estaba infundiendo al hombre un nuevo interés por el funcionamiento mecánico puro, y algunos han llegado a decir que se debía a la frecuencia, cada vez mayor, con la que se encontraba entre relojes y otras máquinas, aunque no es posible determinar si en efecto esta era la causa. Desde luego, no es posible atribuir solamente a este hecho la importancia de la astronomía y de la mecánica, aunque puede que constituyera un factor más entre los que ayudaron a intensificar la preocupación de la investigación científica por cuestiones mecánicas. Una cosa salta a la vista: no solo había en algunas de las grandes figuras intelectuales una honda aspiración a demostrar que el universo funcionaba como un aparato de relojería, sino que ello, en sí mismo, constituía en principio una aspiración religiosa. Se sentía que habría

algo defectuoso en la propia Creación —algo no enteramente digno de Dios— si no se podía demostrar que todo el universo estaba relacionado entre sí de semejante modo que se pudiesen apreciar en él una razón y un orden. Adquiere importancia aquí la figura de Kepler, al iniciar en el siglo XVII la búsqueda de un universo mecánico; su misticismo, su música de las esferas, su deidad racional exigen un sistema que encierre la belleza de la matemática pura. Hubo un tiempo en que los hombres trataron de demostrar a Dios por medio de milagros, y la inteligencia humana se había mostrado anhelante por encontrar en el mundo una evidencia del capricho divino. En el momento al que hemos llegado ahora, encontramos una diferencia en los sentimientos que marca una transformación en la experiencia humana, porque vemos claramente que la aspiración de la mente es ahora demostrar el orden divino y su consistencia en sí mismo. Si no hubiera regularidad en la función ordinaria del universo, carecerían de significado hasta los milagros cristianos. Y como ya hemos visto, la aspiración a transformar el mundo creado en un mecanismo formaba parte de la reacción contra la superstición pampsíquica, contra la creencia de que la propia naturaleza era de carácter mágico. No cabía duda de que Dios podía crear algo de la nada, pero para Francis Bacon era obvio que la naturaleza no era capaz de hacer nada igual; la cantidad de materia del universo tenía que ser constante. Ya hemos visto que Descartes dedujo la conservación del momento partiendo de su idea de la inmutabilidad de Dios.

Así pues, quizá no exageremos al decir que hay algo en todo el clima intelectual de entonces que ayuda a explicar los intentos llevados a cabo durante el periodo en cuestión para hacer revivir los sistemas que interpretaban la naturaleza de la propia materia desde puntos de vista puramente mecánicos. Esto fue lo que en el siglo XVII llevó a la preponderancia de las diversas formas de lo que más adelante se denominó «filosofía corpuscular». Se generalizó la opinión de que todas las operaciones de la naturaleza, toda la fábrica del universo creado, podían ser reducidas al comportamiento de partículas minúsculas de materia y de que toda la variedad que se ofrecía a la experiencia humana podía resolverse en una cuestión de tamaño, configuración, movimiento, posición y yuxtaposición de aquellas partículas. Volvieron a ver la luz, en un nuevo

contexto, las teorías antiguas del átomo relacionadas con Demócrito y los epicúreos, pero existía una diferencia fundamental: mientras que las teorías antiguas tendían a atribuirlo todo a la combinación fortuita de átomos, de modo que el universo, por decirlo así, había sido dejado a la mera casualidad, ahora se suponía que en el mecanismo mismo había una racionalidad; efectivamente, las teorías corpusculares eran el resultado de la búsqueda de lo racional y hasta una parte de la necesidad de justificar la existencia de Dios.

Por mucho que Francis Bacon protestase contra los sistemas filosóficos, tuvo buen cuidado de llamar la atención sobre la importancia de las explicaciones atómicas del universo. Hace algunas observaciones interesantes sobre este tema en una serie de ensayos titulados *Thoughts on the Nature of Things*. Imaginó los átomos originales «agrupándose en ciertos grupos y nodos» de tal forma que sus distintas combinaciones bastaban para explicar las variedades de sustancia que aparecen ante los cinco sentidos del hombre. Se daba cuenta de la importancia del movimiento de las partículas, y habló de la cantidad de cosas —el calor, por ejemplo— que podían explicarse por el mero hecho de la existencia de aquel movimiento que estaba ocurriendo a escala diminuta en el interior de los cuerpos sólidos, en su misma sustancia. A propósito de esto, señaló que el gran defecto de los pensadores antiguos estribaba en haber pasado por alto el estudio del movimiento y no haber tratado de entenderlo, algo que era absolutamente necesario para comprender los procesos de la naturaleza. Algunos creían que las partículas que he mencionado eran lo último a que se podía llegar en el análisis y la subdivisión de la materia; eran duras, impenetrables y definitivas, y era completamente imposible reducirlas a menos. Esa gente estaba dispuesta a desertar de un principio que había sido aceptado gracias a la autoridad de Aristóteles; estaba dispuesta a admitir la existencia de un vacío entre estas partículas y dentro de la misma sustancia de la materia. Se inclinaban a seguir a Gassendi, quien en 1626 anunció su propósito de recuperar la filosofía de Epicuro y elaboró un sistema de carácter específicamente atómico. Otros, que consideraban que el vacío era de cualquier modo imposible y, por tanto, creían en la continuidad ininterrumpida de la materia en toda la extensión del universo, se inclinaban

más bien por seguir a Descartes. En su opinión, la materia era divisible hasta el infinito, las partículas podían ser divididas a su vez y, de hecho, no existía un átomo final que constituyese la base sólida de todas las formas de sustancia. Si se pudiera extraer todo el aire de un tubo, este seguiría estando tan lleno como al principio, y la sustancia que entonces contendría seguiría siendo continua, aunque de carácter mucho más etéreo. Había otros, como Robert Boyle, que no querían decidirse entre ninguna de aquellas dos opiniones, pero que no dejaban de confesar su inclinación hacia alguna clase de lo que ellos llamaban «filosofía corpuscular». La revelación de la compleja estructura de la naturaleza durante el siglo XVII —gracias sobre todo al empleo cada vez mayor de la lupa, del telescopio y, más adelante, del microscopio— despertaba el interés por la subdivisión diminuta de la materia. El propio Bacon es un ejemplo de que el hombre comenzaba a darse cuenta de la extraordinaria complejidad de la estructura de las cosas, incluso en los aspectos más diminutos de la naturaleza. La nueva filosofía permitía reducir todo el universo a materia y movimiento. Hacía posible explicar toda la naturaleza en términos de mecánica.

La intención —formulada explícitamente con frecuencia en el siglo XVII — de tratar de explicar todo cuanto hay en el universo físico por medio de procesos mecánicos, ejerció un efecto muy profundo en las ciencias biológicas, a las que procuró imprimir su carácter peculiar. Parece como si estas ciencias hubieran sentido el estímulo de este nuevo modo de enfocarlas en los primeros momentos de la historia, quizá empujadas a un desarrollo excepcional en ciertos aspectos. No obstante, parece que había de llegar un momento en que el punto de vista mecanicista constituyese un estorbo más que una ayuda, siendo en último término la causa del entorpecimiento que se produjo en el desarrollo del saber y la comprensión.

Ya hemos visto el carácter mecánico de las investigaciones que William Harvey hizo sobre la circulación de la sangre; pero en Padua, la universidad de Harvey, hay pruebas más notables y más directas del hecho de que la labor y los principios de Galileo comenzaban a influir en la Facultad de Medicina. Sanctus Sanctorius (1561-1636) se dedicó a adaptar el termómetro al uso clínico y empleó un instrumento inventado por Galileo para tomar el pulso. Estudió la temperatura, la respiración y las leyes físicas

de la circulación, y sobre todo experimentó con pesos —poseía una balanza sobre la que podía comer y dormir, lo que le permitía controlar su propio peso bajo diversas condiciones— y descubrió varios hechos referentes a la secreción insensible de sudor. Estaba además Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), un matemático joven amigo de Galileo. Su libro *Sobre el movimiento de los animales*, publicado entre 1680 y 1681, poco después de su muerte, representaba un ejemplo supremo de la aplicación de la ciencia de la mecánica al estudio del organismo vivo. Sus contribuciones más brillantes a la ciencia se refieren al estudio del movimiento muscular, empleando matemáticas y diagramas de tal forma que su tratado parece casi un libro de mecánica. Uno de los capítulos trata de los «Problemas de mecánica útiles en la determinación más exacta de la fuerza motriz de los músculos». Examinaba el acto de caminar como nadie lo había hecho nunca antes que él, y luego estudiaba el vuelo de los pájaros y la forma en que nadan los peces; casi lo primero que se pregunta acerca de un ave es dónde se encuentra su centro de gravedad. Uno de los apartados del libro se titula «La cantidad de aire sobre la que actúa el ala de un pájaro en vuelo tiene la forma de un sector sólido descrito por un radio igual a la longitud del ala». Borelli calcula que «la fuerza desarrollada por los músculos que accionan las alas es decenas de millares de veces superior al peso del pájaro», y señala que, si sucediese algo análogo en el caso del ser humano, la fuerza motriz de nuestros músculos pectorales no podría ser nunca suficiente para semejante trabajo, de modo que la vieja historia de Ícaro no podía haber sido cierta. Se inspira en la obra de William Harvey para examinar la acción de las fibras cardíacas y calcula que, para mantener la circulación, el corazón tiene que ejercer, en cada palpitación, una fuerza equivalente nada menos que a 135.000 libras. Compara el corazón con un pistón o una prensa de vino. Además, dedujo que si la sangre circula regularmente desde las arterias, pasando por los capilares a las venas —en su regreso al corazón—, la uniformidad de su corriente se debe a la elasticidad con la que reaccionan las paredes de las arterias. Las arterias, después de dilatarse, se contraen, obligando a la sangre a un movimiento de avance igual que si las hubieran apretado con una cuerda; de modo que, en cierto modo, la regularidad de la circulación sanguínea se puede atribuir, si no directa, sí indirectamente al

corazón mismo. Un contemporáneo de Borelli, el danés Niels Stensen, que trabajó sobre todo en Francia e Italia, también era esencialmente mecanicista y trataba de aplicar principios matemáticos y geométricos a los músculos. Todo este método mecánico aplicado a los seres vivos tenía que transformarse por fuerza, más pronto o más tarde, en un obstáculo para el avance de las ciencias biológicas, en la proporción en que se iba volviendo menos propio del caso y en la proporción en que se precisaba la química, como en el caso de la digestión, por ejemplo.

El resultado de aquella tendencia a poner la mecánica por encima de todo fue que se extendió la opinión de que el ser vivo no era ni más ni menos que un aparato de relojería. Todo parece indicar que Descartes, al completar la interdependencia continua de las diversas partes de la maquinaria de su universo físico, llegó a ser el representante más destacado de este modo de ver las cosas. La adhesión a este principio del automatismo animal estricto llegó a ser, si se me permite la expresión, una característica dogmática que los adeptos a este sistema consideraban una especie de piedra de toque; decidía si uno podía reclamar para sí el derecho de posesión del elixir puro de la ortodoxia cartesiana. Todo el problema suscitó grandes controversias en los siglos XVII y XVIII. La filosofía de Descartes hacía una distinción tan estricta entre el pensamiento y la materia, entre el alma y el cuerpo, que apenas era posible salvar la sima que quedaba entre ellos si no sucedía algo milagroso, algo que sobrepasase a la imaginación. Según este sistema, a los animales se los consideraba exentos de todo pensamiento o conciencia verdadera, mientras que la esencia del alma consistía precisamente en poseer estas dos cosas. Por tanto, se sostenía que los animales en realidad no podían ver nada ni sentir la amargura, la angustia verdadera del dolor físico. Sus ojos no registraban más imagen que la que percibimos nosotros cuando miramos sin fijarnos, cuando miramos con los ojos fijos y vacíos sin percibir realmente lo que vemos. Asimismo, según la teoría de Descartes, los animales no percibían más que sensaciones puramente corpóreas e inconscientes, pero no tenían conciencia, ni sufrían agonía mental, ni eran capaces de sentir realmente el dolor. Sin embargo, Dios, el alma humana y todas las cosas espirituales escapaban a la prisión de la mecánica y eran presencias sobreañadidas que se deslizaban entre las

poleas, las transmisiones y las férreas piezas de una implacable máquina universal. Era muy difícil demostrar cómo estos dos planos de existencia podrían llegar a coincidir alguna vez, o en qué punto la mente y el alma podrían reunirse con la materia. Había cierto sentido en el cual el alma, representada en el sistema cartesiano por el pensamiento, apenas podía considerarse que tuviera ubicación espacial alguna. En otro sentido también era posible decir que no estaba relacionada con una parte determinada del cuerpo más que con otra. No obstante, Descartes la fijaba exactamente en la glándula pineal; en parte, porque se creía que los animales no racionales no poseían epífisis. Sin embargo, en la generación siguiente, Niels Stensen echó por tierra este argumento al descubrir esta glándula en otros animales. Al creer Descartes que había encontrado el lugar estratégico donde se unían el alma y el cuerpo, se hizo acreedor de cierto mérito al concentrar acto seguido su atención en la acción de los nervios. No obstante, creía que entre los nervios y los músculos se producía un intercambio de materia. En líneas generales, sus teorías le llevaron a un proceso demasiado directamente mecánico.

Leibniz dijo que todo cuanto sucede en el cuerpo del hombre o de los animales es tan mecánico como lo que ocurre en el interior de un reloj. Algunos ingleses de finales del siglo XVII —Henry More, el platónico de Cambridge, por ejemplo— creían que Descartes había ido demasiado lejos en su idea del hombre como una estatua orgánica, como una máquina automática. Newton pensaba que, aunque el sistema de Descartes precisaba un creador que hubiera puesto en movimiento la maquinaria en un principio, se acercaba peligrosamente a declarar superfluo a Dios una vez que el universo hubiese comenzado a funcionar. Y es curioso observar que, si a principios del siglo los hombres religiosos habían ansiado un universo entrelazado matemáticamente para poder justificar la racionalidad y la coherencia de Dios, antes que acabase el siglo sus sucesores comenzaban a sentirse nerviosos al darse cuenta de que el mecanismo, posiblemente, se estaba transformando en algo demasiado perfecto y autosuficiente. Boyle no estaba de acuerdo con Descartes en cuanto a la necesidad de Dios; decía que era necesario no solo para ponerlo todo en movimiento y establecer las leyes del movimiento, sino también para combinar los átomos o los

corpúsculos en aquellos notables sistemas arquitectónicos que hacían posible que se organizaran hasta dar lugar al mundo vivo. Newton estaba incluso dispuesto a creer que la gravedad, que al parecer no tenía otra explicación posible, significaba la actividad constante de un ser vivo que llenaba la totalidad del espacio. También estaba dispuesto a pensar que las combinaciones insólitas que se daban algunas veces en el cielo —por ejemplo, conjunciones poco frecuentes o el paso de cometas por una órbita cuando en las proximidades había algún otro cuerpo celeste— producían ligeros trastornos mecánicos y discrepancias casuales que precisaban la continua y atenta intervención de una deidad vigilante.

Los efectos de la Revolución científica en general y de las nuevas teorías mecanicistas en particular resultan muy evidentes en las obras del honorable Robert Boyle, que vivió entre 1627 y 1691, y que al mismo tiempo ayuda a demostrar la importancia de algunas de las ideas de Francis Bacon. A los veinte años de edad entró en la esfera de influencia de los miembros de un grupo que, a partir de 1645, se reunía en Londres para estudiar la nueva filosofía, denominada específicamente por ellos «filosofía experimental». A esa edad, al escribirle a otro miembro de aquel grupo, confesó que en otros tiempos se había sentido muy atraído por Copérnico, pero que ahora escribía acerca de los sistemas ptolemaico y copernicano, al igual que del sistema de Tycho Brahe, como si se tratase de teorías rivales en una controversia que, de momento, no era posible decidir en un sentido u otro. Parece que cinco o seis años más tarde —es decir, entre 1652 y 1653 — se había convertido a la doctrina de la circulación de la sangre, y conoció a William Harvey en los últimos años de la vida de este. En 1654 se trasladó a Oxford para establecerse allí por invitación del doctor John Wilkins, que acababa de ser nombrado director del Wadham College, y en torno al cual se agrupaba un grupo de químicos, médicos, etcétera, defensores apasionados de Bacon y de la filosofía experimental. Aunque afirma haber descubierto «lo útil que es la geometría especulativa para la filosofía natural», Boyle lamenta sus lagunas matemáticas y su obra tiene un aspecto más baconiano porque sus investigaciones carecen del matiz matemático. En algunos pasajes de sus obras se lanza explícitamente a justificar el enfoque no matemático de los problemas científicos.

Boyle trató ante todo de ser un historiador en el sentido que Bacon le daba a este término —el sentido implícito en «historia natural»—, es decir, de reunir los resultados de determinadas investigaciones y acumular una gran colección de datos que serían útiles en el futuro para todo aquel que desease reconstruir la filosofía natural. Con este fin se dedicó a compilar colecciones, como una historia natural del aire, una historia de la fluidez y la firmeza, una historia experimental del calor o del frío, al igual que Bacon había hecho con el viento o con el calor. Nos dice que una de las colecciones estaba destinada a continuar *Sylva sylvarum*, es decir, la historia natural de Francis Bacon. Confiesa que era tan partidario de este último que durante mucho tiempo se negó a leer a Gassendi o a Descartes, o incluso el *Novum organum* del propio Bacon, por temor a sentirse seducido demasiado pronto por hipótesis demasiado excelsas, aunque admite que cabe la hipótesis después de los experimentos, y solo insiste en el carácter subordinado que aquella ha de tener y en que los hombres de ciencia no deben aferrarse a teorías sobre aquella base. Dice que alguna vez comunicará los resultados experimentales sin añadirles teoría alguna, porque lo que tendrá utilidad permanente serán los datos obtenidos durante sus investigaciones, tanto si sus teorías demuestran ser ciertas como si no. Generó un indudable interés público por sus experimentos, pues empleaba un numeroso equipo de «ayudantes, experimentadores, secretarios y coleccionistas».

Otro hombre de ciencia contemporáneo, Huygens, indica —y así lo han repetido desde entonces los historiadores de la ciencia, no faltos de alguna justicia— que, en proporción a la enorme cantidad de trabajo experimental que realizó y anotó Boyle, sus descubrimientos importantes o los cambios estratégicos que produjo en la ciencia fueron muy pocos. Al igual que Bacon, escribió: «Desde hace mucho tiempo me viene pareciendo que uno de los obstáculos, y no el menor, a que se enfrenta la verdadera evolución de la filosofía natural como debe ser, es que los hombres hayan sido tan osados publicando sistemas que la comprendan toda». Se quejaba de que incluso la nueva ciencia, la filosofía mecánica, tenía todavía una base experimental demasiado exigua, y de que los hombres de ciencia miraban con desprecio las generalizaciones limitadas de los experimentadores

baconianos; el mundo necesitaba que todo se explicase partiendo de principios fundamentales, a la manera de Descartes, y tomaba por una bagatela demostrar que cierto fenómeno era la consecuencia de la aplicación de calor. Apreciaba a Bacon incluso en aquello en lo que los autores modernos más le han atacado —en su historia natural—, y aunque Boyle no tenía muchas cosas buenas que decir sobre el contemporáneo de Bacon —el famoso químico Van Helmont—, así como sobre otros muchos hombres de ciencia, encontraba difícil creer que el gran Francis Bacon hubiera sido un iluso. En uno o dos casos en que Bacon fue objeto de burlas y ataques por haber dado a conocer experimentos que no resultaron ciertos, se puso a investigar cómo podía haberse equivocado sir Francis, y descubrió que, por ejemplo, Bacon tenía razón si se aceptaba que empleó un tipo de espíritu de vino más puro que el que se empleaba por regla general una generación más tarde. Aparte de esto, se interesaba por esas anomalías o impurezas que existen con frecuencia en los productos empleados por los químicos, y que explican por qué muchos de sus experimentos se desarrollaban anormalmente. Escribió sobre todas las clases de accidentes que, en determinados casos, impedían que un experimento diese los resultados esperados o un resultado uniforme. Anotaba y archivaba cuidadosamente todas sus observaciones e insistía en lo importante que era hacerlo, confirmando los experimentos con repeticiones incesantes y sin fiarse de la mayor parte de lo que se publicaba pretendiendo ser resultados experimentales. Era baconiano también por la manera en que continuamente daba gracias a Dios por haber sido iniciado en las operaciones químicas por artesanos analfabetos, gente que no era capaz de dar cabida en su mente a las nociones y los filosofismos de los alquimistas, quienes estaban cegados por la jerigonza de su oficio. Quizá era baconiano incluso en su interés por lo que popularmente se conoce como alquimia, en su creencia de que podía transformar el agua en tierra, de que había transmutado el oro en un metal innoble, y en el secreto y la mistificación que manifestaba con respecto a una parte de sus obras. A esta confianza en su trabajo se debió el hecho de que se dirigiera al Parlamento en 1689 y lograra la abolición de la ley dictada durante el reinado de Enrique IV contra todos aquellos que tratasen de multiplicar el oro y la plata.

Nos resulta difícil imaginar el estado en que se encontraba la investigación química en los tiempos anteriores a Boyle, o comprender, por una parte, las mistificaciones y los misticismos y, por otra, la condición de anarquía en la que se encontraba todo entre los alquimistas en general. Van Helmont, que vivió unos veinte años después de Bacon, hizo uno o dos descubrimientos químicos de importancia, pero están enterrados en tal montaña de imaginación —incluida la opinión de que todos los cuerpos pueden ser reducidos en última instancia a agua— que incluso sus propios comentaristas del siglo XX son, también ellos, criaturas fabulosas y las cosas más extrañas que dice Bacon parecen racionales y modernas en términos comparativos. Con respecto a la alquimia, es más difícil averiguar la verdadera situación en que se hallaban, porque los historiadores que se especializan en este campo parecen algunas veces estar también a merced de la ira de Dios; al igual que quienes escriben sobre la controversia Bacon-Shakespeare o sobre la patria de Colón, parece como si se contagiaran de la misma clase de locura que están describiendo.

No obstante, hay dos cosas que se aprecian claramente en los tiempos de Boyle, porque la campaña contra ellas que despertaron fue uno de los objetos explícitos de gran parte de su obra. Por un lado, combatía la interpretación escolástica de las propiedades y las cualidades —verdor, fluidez, frialdad, etcétera— que poseen los cuerpos; o, en otras palabras, discutía la doctrina tradicional de lo que se denominaba «forma sustancial», doctrina que, en su opinión, se había endurecido y pervertido desde que la expuso Aristóteles. Demostró que la doctrina de las «formas sustanciales» no había conseguido explicar nada y no había hecho más que añadir una especie de mistificación cuando estaba claro que, al no existir ya el obstáculo de semejante doctrina, en tiempos recientes se habían resuelto problemas fundamentales de estática, hidrostática, etcétera. Por otro lado, con respecto a la constitución de la materia, los partidarios de Aristóteles creían que las sustancias podían ser descompuestas en los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego). Los alquimistas, a los que Boyle solía llamar «espagiristas», creían que la materia podía ser descompuesta en tres principios hipostáticos (azufre, sal y mercurio). Al atacar estas opiniones o cualquier combinación de ellas, Boyle llegó casi a colocar la primera piedra

de la química moderna e hizo sus contribuciones más importantes a la ciencia —con respecto a la estructura de la materia—. Su obra en este aspecto fue tan estimulante que hay que buscar alguna explicación histórica de por qué hubo de pasar un siglo para que la ciencia química comenzase a mantenerse sobre sus propios pies.

Es curioso observar que en el momento en que su obra iba a tener tanto interés y tanta importancia para la historia de la ciencia, Robert Boyle, a pesar de todas sus predicaciones contra eso mismo, y a pesar de la forma en que él mismo trató de defenderse de ello, sintió el estímulo de una especie de doctrina, una filosofía que lo abarcaba todo y que se había generalizado mucho entre los pensadores de vanguardia de aquellos tiempos. En cierto sentido era baconiano incluso en esto, porque lo que le había atraído era la teoría corpuscular del universo, y en uno de los ensayos más fascinantes de Bacon, como ya hemos visto, se llama la atención sobre la teoría corpuscular, con la observación muy significativa de que, o era cierta, o era de suma utilidad con fines demostrativos, pues no existía ninguna otra hipótesis que le permitiera a uno comprender ni describir la extraordinaria sutileza de la naturaleza. En vez de considerarla una teoría puramente especulativa, del tipo que había que evitar a toda costa, Bacon, por el contrario, les había dicho a los hombres de ciencia que aquella era precisamente la dirección que tenían que seguir si deseaban «ganarle a la naturaleza por la mano». Boyle nos dice que durante mucho tiempo evitó leer nada acerca de la teoría corpuscular por temor a que su trabajo y su mente se vieran influidos por ella, pero en sus escritos se aprecia que no fue capaz de resistirse. Lo discutió una y otra vez, tanto si era con la forma de una teoría atómica de Gassendi como con la del sistema de Descartes, que consideraba a la materia divisible *ad infinitum*, y envolvió a ambas en una generalización de la teoría corpuscular, colocándolas frente a las teorías aristotélicas y alquimistas de la materia. En una ocasión dijo que estaba dispuesto a que le corrigieran en sus generalizaciones particulares sobre la formación de mezclas y compuestos en química, pero que, como filósofo natural, no esperaba «dar con ningún otro principio más exhaustivo e inteligible que el corpuscular», al que muchas veces llamaba filosofía «mecánica», puesto que pretendía dar una explicación mecánica del

universo físico. Nos encontramos, pues, con que en este otro aspecto Boyle es un producto de la Revolución científica en su fase esencialmente mecánica.

Boyle afirmó que los peripatéticos, los aristotélicos, empleaban demasiado poco el experimento, que no lo introducían más que cuando deseaban ilustrar los principios a los que habían llegado en su sistema filosófico general. Aquella objeción tenía un carácter marcadamente baconiano y quizá no fuese enteramente justa, y lo mismo sucedía con sus ataques continuos al método silogístico. También era Boyle baconiano cuando indicaba que los propios filósofos mecanicistas «habían aportado muy pocos experimentos para corroborar sus afirmaciones». Se propuso conscientemente hacerles ese servicio, darle a su teoría de la materia el fondo experimental que requería, y en este sentido, a pesar de sus repetidas protestas de lo contrario, se exponía a ser atacado con los mismos argumentos que había utilizado para criticar a los peripatéticos; es decir, por emplear los experimentos para corroborar teorías que existían ya en su mente. Boyle nos dice que ante todo se propuso conseguir «una mejor comprensión entre los químicos y los filósofos mecanicistas que han estado hasta ahora poco familiarizados con la labor de los otros». Insistió en la necesidad de una alianza entre la química y la ciencia mecánica en el estudio del cuerpo —señaló la importancia de que hubiera quien se especializase en ambas ciencias al mismo tiempo—, y demostró que la química tenía un papel importante que desempeñar, por ejemplo, en la investigación del proceso digestivo. Consideraba que toda la filosofía corpuscular se veía confirmada por la ciencia química, en cuyas operaciones, decía, sucedía con frecuencia que «la materia se dividía en partes demasiado pequeñas para ser perceptibles de manera aislada por los sentidos». Por tanto, Boyle relaciona con frecuencia los principios de la mecánica con problemas de carácter químico o médico; por ejemplo, tiene una obra titulada *Medicina hydrostatica*, o *La hidrostática aplicada a la materia médica*. Asimismo, recurre constantemente a estas ciencias en relación con las hipótesis de moda en el siglo XVII sobre la estructura de la materia; uno de sus escritos se titula *De cómo es posible reconciliar la medicina específica con la filosofía corpuscular*. Una y otra vez se muestra

ansioso por demostrar que los experimentos químicos son pertinentes y aplicables a las más altas esferas de la filosofía natural. En todo esto se aprecia con suficiente claridad su convencimiento de que estaba haciéndole el mejor de los servicios al cristianismo, cuyos intereses salvaguardaba celosamente y del cual recibió apoyo para escribir numerosos tratados.

En sus ataques, tanto contra Aristóteles como contra los alquimistas, nos da una imagen muy detallada de la estructura de la materia tal y como era concebida en la nueva filosofía mecánica, y podemos seguir la senda por la que se encaminó a su nueva doctrina respecto a los elementos químicos. Desde su punto de vista, el universo podía ser explicado a partir de tres principios originales —materia, movimiento y reposo—, de los cuales la propia materia era susceptible de ser reducida a partículas diminutas, sobre las que afirma, en una ocasión, que está dispuesto a suponer que tienen una longitud de una billonésima de pulgada. En primer lugar dice:

> Existen en el universo tres grandes almacenes de partículas materiales, cada una de las cuales es demasiado pequeña para, estando aislada, poder ser percibida por los sentidos; y al ser entera e indivisa tiene que poseer una forma determinada, así como ser extraordinariamente sólida. Por tanto, aunque pueden ser divisibles mentalmente y por la omnipotencia divina, no obstante, a causa de su pequeñez y su solidez, la naturaleza no consigue casi nunca dividirlas; y así se podrían denominar, en cierto modo, *minima* o *prima naturalia*.

En el párrafo siguiente afirma:

> También hay multitud de corpúsculos que son el resultado de la coalición de varias de dichas [partículas o] *minima naturalia*, y cuyo tamaño es tan pequeño y cuya adhesión es tan íntima y estricta que cada una de estas concreciones primitivas o grupos […] de partículas queda también por debajo de la percepción sensorial cuando está aislada; y aunque no es absolutamente indivisible por la naturaleza en [las partículas originales o] *prima naturalia* que la compusieron […] sucede muy rara vez que se vean disueltas o rotas, y siguen enteras en una gran variedad de cuerpos sensibles.

Boyle dice que, si se admite la existencia de las partículas originales y su agrupación en nodos o concreciones, los movimientos y distribuciones puramente mecánicos de estos diminutos corpúsculos explicarán todas las distintas características y tendencias de los cuerpos físicos, de manera que no es necesario recurrir a las nociones aristotélicas de la forma ni a

mistificación alguna respecto a la cualidad de verdor que tienen los cuerpos que son verdes por naturaleza. Las diferencias entre una sustancia y otra no son sino las existentes entre los sistemas esquemáticos en los que se disponen las partículas de la materia común, los movimientos que ocurren entre ellos y las diferencias de contextura o estructura que producen las diversas combinaciones posibles. La configuración de los corpúsculos, las dimensiones de las agrupaciones y la posición o postura de las partículas bastan para explicar la diversidad de formas que existe en la naturaleza. Una de las obras de Boyle se titula *Experimentos sobre el origen mecánico, o la producción de las cualidades particulares*, y en ella leemos un discurso sobre el origen mecánico del calor y del magnetismo. En otro lugar, Boyle demostró que los cuerpos son fluidos cuando los corpúsculos diminutos reposan unos sobre otros sin tener más puntos de contacto que algunas partes de sus superficies, de manera que se deslizan fácilmente unos a lo largo de otros hasta que encuentran algún cuerpo resistente «contra cuya superficie interna se acomodan exquisitamente». «Los colores que presentan los cuerpos no se deben al predominio de este o aquel principio en ellos, sino a su contextura y sobre todo a la disposición de sus partes superficiales, que hacen que cambie la luz que reflejan.» La blancura es el resultado de la reflexión de un cuerpo cuya superficie

> la vuelve áspera una cantidad casi innumerable de pequeñas superficies; las cuales, al tener una naturaleza casi especular [como diminutos espejos convexos], están dispuestas de manera tal que, unas mirando hacia un lado y otras hacia otro, no reflejan una hacia la otra los rayos luminosos que caen sobre ellas, sino hacia fuera, hacia los ojos del observador.

Y de la misma manera que el terciopelo o el peluche cambian de color si se frota una parte del tejido en una dirección y otra parte en la dirección contraria —al igual que el viento crea ondas de color y de sombra en un campo de trigo al arremolinarlo—, la postura y la inclinación de las partículas de un cuerpo determinado gobiernan también la forma en que se modificará la luz al ser reflejada hacia los ojos del espectador. Algo similar a esto acontece también en varios procesos de la naturaleza o de la química; por ejemplo, en el caso de la putrefacción, el aire o algún otro fluido arrastra las partículas más sueltas y la sustancia se disloca, produciendo

quizá incluso un cambio en la composición de los diversos corpúsculos. El sabor de las cosas lo explica Boyle de forma parecida:

> Si los cuerpos son reducidos a una multitud de partes de tamaño lo bastante pequeño, es muy probable que algunos de estos, bien en parte, bien en conjunción con otros, adquieran un tamaño y una forma que los hace especialmente adecuados para afectar al órgano del gusto.

Algunas veces habla como si creyese que el sabor es efecto de los pinchazos producidos por las agudas aristas de los corpúsculos. Su opinión de conjunto está clara: las cualidades y propiedades de los cuerpos que nosotros conocemos pueden explicarse todas ellas por el movimiento, el tamaño, la configuración y la combinación de las partículas entre sí. El comportamiento de las partículas y las manifestaciones resultantes de ello en los diversos cuerpos que existen los atribuye a lo que llama «las afecciones mecánicas de la materia», porque, según nos dice, son análogas a «las diversas operaciones de un ingenio mecánico». Con frecuencia dice del cuerpo humano que es una «máquina sin igual» y del universo que es «un autómata, o una máquina que funciona por sí sola».

Boyle estaba muy preocupado por lo que llama continuamente «contextura» o «estructura» de la materia, el resultado de las innumerables combinaciones que son posibles entre partículas y corpúsculos. Muchas de sus grandes obras ponen de relieve su gran interés en este problema, y no nos sorprende que su contribución más importante a la química se produjera precisamente en este campo (su análisis sobre qué era lo que constituía un elemento químico). En su obra más famosa, *El químico escéptico*, se ocupa de esta cuestión concreta. No nos da su sistema positivo en su forma más desarrollada, sino que se trata más bien de un ejemplo de su labor destructiva en su punto más álgido. Atacaba en ella lo que sus predecesores habían considerado hasta entonces cosas virtualmente irreductibles de la química: por un lado, la doctrina aristotélica de los cuatro elementos; por otro, la doctrina alquimista de los tres principios hipostáticos. Boyle demostró que los alquimistas se equivocaban al suponer que, por medio del fuego, todos los cuerpos compuestos podían ser analizados en sus elementos integrantes. Probó que en realidad sucedía algo distinto si un cuerpo compuesto era sometido a la acción del calor, ya fuera quemándolo

en el exterior o calentándolo en una retorta cerrada. Los resultados producidos en una sustancia por una cantidad de calor moderada, decía, no eran siempre compatibles con los efectos ocasionados por una gran cantidad de calor. Demostró que algunas veces el fuego producía la unión de cuerpos de naturaleza distinta, o que daba lugar, a partir de una sustancia determinada, a un compuesto nuevo que no existía previamente. Tras combinar dos compuestos para formar jabón, lo calentó en una retorta cerrada y obtuvo dos sustancias distintas de las que había empleado para sintetizarlo. Sostenía que el fuego divide los cuerpos compuestos porque algunas de sus partes están más fijas, mientras que otras son más volátiles, pero que no tiene importancia que todas estas partes o algunas de ellas sean de naturaleza elemental o no; el fuego no reduce necesariamente una sustancia a sus elementos primarios. Al mismo tiempo, señaló que no había habido nadie capaz de dividir el oro en cuatro componentes, mientras que la sangre era una sustancia susceptible de ser descompuesta en más de cuatro ingredientes distintos.

Boyle también llamó la atención sobre la diferencia entre los compuestos químicos y las simples mezclas; demostró de qué manera ambos están relacionados de modo diferente con los elementos que las componen, e indicó qué ensayos facilitarían la identificación de sustancias concretas. En un ataque en toda regla contra la creencia reinante en los tres «principios» de Paracelso —azufre, sal y mercurio—, aclaró la descripción de la naturaleza irreductible de un elemento químico, aunque ya Van Helmont se le había anticipado en esto; es más, podemos decir que, por la forma en que enfocó el asunto, Boyle introdujo nuevos elementos de confusionismo que anularon las ventajas que hubiera podido sacar. Demostró que el fuego no era capaz de reducir el vidrio a sus elementos, aunque todo el mundo sabía perfectamente que había elementos en los que se habría podido reducir, puesto que se componía de arena y álcali. Consideraba que un trozo de oro era algo compuesto de corpúsculos muy finos, y se inclinaba a creer que aquellos corpúsculos metálicos se resistirían más al análisis que él llamaba una «concreción», extraordinariamente estable, extraordinariamente difícil de reducir y fácil de recuperar, incluso después de que el oro hubiese sido mezclado con alguna

otra cosa y, aparentemente, hubiera desaparecido. Pero no estaba convencido de que no se pudieran descomponer por algún procedimiento en algo que fuera más genuinamente elemental, y al parecer no estaba dispuesto a ser consecuentemente pragmático, como lo sería Lavoisier más adelante, y aceptar una sustancia como «elemental» por el mero hecho de que hasta entonces no hubiera podido ser descompuesta por procedimientos químicos. Alguna vez hasta llegó a manifestar dudas acerca de la existencia de los «elementos químicos» o sobre si era necesario postular algo así, puesto que las diferencias entre una sustancia y otra podían ser explicadas como efectos del tamaño, la forma, la estructura, la contextura y el movimiento producidos por el simple aumento y la disposición arquitectónica de las partículas primigenias de la materia primaria. Por tanto, la misma química podía ser reducida a lo que se ha denominado «micromecánica», y el propio Boyle mostraba una tendencia a irse directamente a esta explicación fundamental de las cualidades que encontraba en toda clase de materia. Aunque esta opinión fuese en cierto modo un primer conato de lo que habría de demostrarse mucho más adelante, es muy probable que haya sido perjudicial, pues con ella se pasaba por alto toda la idea que hoy tenemos del elemento químico y hasta de la propia química. Quizá su filosofía mecanicista le ayudara en ciertos aspectos, pero otras veces le planteó dificultades muy graves. Y no solo a él, pues, proporcionalmente a la influencia que su obra ejerció en el mundo, también ocasionó un retraso en la evolución de la química. La división de la materia de Paracelso en los tres «principios» hipostáticos quizá perdiera algo de su prestigio en el periodo que siguió, pero el sistema de Aristóteles —la doctrina de los cuatro «elementos»— iba a ganar de nuevo adeptos, como se apreció durante el siglo XVIII.

El estudio que Boyle hizo de la atmósfera, que fue el que inició su carrera de químico y sus disputas con los peripatéticos, ocupa un lugar de gran importancia en el relato de los descubrimientos del siglo XVII. Cuando Galileo se encontró ante dos planchas de mármol o de metal pulido que se adherían con tanta fuerza que una podía levantar a la otra, interpretó el fenómeno de acuerdo con la tesis aristotélica de que la naturaleza aborrece el vacío y pasó por alto la objeción de que la resistencia que oponían

aquellos dos cuerpos al ser separados apenas podía achacarse a algo que todavía no existía; es decir, al vacío que hubiera producido su separación. Al no conseguir que una bomba elevase el agua desde más de diez metros de altura, a Galileo no se le ocurrió preguntarse por qué el horror de la naturaleza al vacío había de llegar a su límite extremo precisamente en aquel punto; dijo que la columna de agua se rompía por su propio peso, al igual que sostenía que se podría colgar una columna de hierro tan larga y pesada que se rompiese por su propio peso. Galileo sabía que la atmósfera tenía peso, y calculaba que una columna de mercurio, al ser tanto más pesada que el agua, se rompería ya al alcanzar una altura catorce veces menor que la columna de agua que conseguía elevar una bomba. Sin embargo, fue su discípulo, Torricelli, quien cogió un tubo de un metro de largo, cerrado por un extremo, lo llenó de mercurio y sumergió el lado abierto en un recipiente que contenía mercurio, de forma que la columna líquida bajó hasta una altura de setenta y seis centímetros, demostrando que la presión del aire mantenía la columna de mercurio a aquella altura y que, en el espacio que dejaba arriba, tenía que existir algo parecido a un vacío. Aquello condujo al descubrimiento del barómetro y a nuevos experimentos relativos a la presión atmosférica —sus variaciones según la altura, por ejemplo—, mientras que en Alemania la observación de la bomba de agua condujo al importante descubrimiento de la bomba de aire.

Robert Boyle mejoró notablemente la bomba de aire alemana, la cual, según nos dice, requería el trabajo intenso de dos hombres durante varias horas antes de conseguir vaciar el recipiente. Demostró que se podía pesar el aire; que poseía un poder de expansión que se oponía a la presión y que la columna barométrica solo se mantenía en alto debido al paso del aire exterior. En cierto momento formuló la interesante conjetura de que podía explicarse el comportamiento del aire si se consideraba que sus diminutas partículas eran otros tantos muellecillos en tensión. Además de todo esto, estudió la respiración y la combustión, y se aproximó al descubrimiento del oxígeno cuando dijo: «Hay en el aire una pequeña quintaesencia vital —si me es permitido llamarla así— que sirve para refrescar y restablecer nuestros espíritus vitales, para cuyo fin la parte más grosera e incomparablemente mayor del aire [es] inutilizable». Se dio cuenta de que

en la atmósfera existe «una amalgama confusa de efluvios […]. Casi no hay nada en el mundo que sea más heterogéneo». Pero parece que, en su opinión, el propio aire era homogéneo y que sus variaciones no se debían más que a vapores y efluvios que en realidad eran ajenos a su constitución. Precisamente, en este campo sus experimentos contribuyeron mucho a justificar la influencia baconiana que los dictaba, el principio de que los hombres de ciencia debían emplear el método experimental con el fin de recabar datos concretos, sin preocuparse demasiado al principio por llegar a una síntesis. Y si bien al concentrarse en la actividad mecánica del aire ejerció un efecto perjudicial en el estudio químico de la atmósfera en el siguiente periodo, como vamos a ver, Boyle supone en general una diferencia tan notable con la química más antigua que los historiadores se han tenido que preguntar, sorprendidos, por qué no se consiguieron mayores progresos en aquella ciencia durante el siglo siguiente.

8
LA HISTORIA DE LA TEORÍA MODERNA DE LA GRAVITACIÓN

Cuando estudiamos la obra de Copérnico nos dimos cuenta de que la hipótesis de la rotación diaria y anual de la Tierra tropezaba con dos dificultades enormes en sus comienzos. La primera era un problema de dinámica. La cuestión era: ¿qué poder estaba actuando para mantener en rotación a esta Tierra tan pesada y al resto de los cuerpos celestes? La segunda era más complicada y requiere unas pocas explicaciones; se trataba del problema de la gravedad. Según la antigua teoría del cosmos, todos los graves tendían a caer hacia el centro del universo. No importaba que este material térreo y pesado se situase por un momento sobre la superficie inmaculada de una estrella distante; seguiría siendo atraído o, mejor dicho, seguiría sintiendo el ansia de correr hacia el mismo centro universal, el centro de la Tierra. Efectivamente, si se suponía que Dios había creado otros universos además del nuestro, y si en ellos se encontrase un trozo de materia genuinamente terrenal, seguiría aspirando a caer hacia el centro de nuestro universo, porque todas las ansias que albergase harían que tendiese a caer hacia el lugar que en verdad le correspondía. No obstante, si se aceptaba la idea de una Tierra que giraba alrededor del Sol describiendo una amplia órbita, a esta esfera ya no se la podría considerar el centro del universo. En este caso, ¿cómo explicar la existencia de la gravedad? Porque seguía siendo cierto que los objetos pesados parecían aspirar a alcanzar el centro de la Tierra.

Los dos problemas en cuestión se agravaron cuando a mediados del siglo XVI, los hombres comenzaron a darse cuenta de que no podía mantenerse en pie la teoría de que los planetas se movían y conservaban su posición en las órbitas respectivas porque estaban sujetos a las grandes esferas cristalinas que formaban la serie de los cielos giratorios. Fue

necesario buscar otro motivo que explicase por qué estos cuerpos celestes podían seguir moviéndose sin mostrar al mismo tiempo una tendencia a vagar a la deriva por el océano del espacio infinito. Estos dos problemas constituían la cuestión más crítica del siglo XVII, y no encontraron solución hasta la gran síntesis de sir Isaac Newton en su obra *Principia*, publicada en 1687; síntesis que representó la culminación de la Revolución científica y que puso los cimientos de la ciencia moderna. Aunque requiere que recapitulemos bastante, ataremos todos los cabos de nuestra narración si señalamos los puntos más importantes de la evolución que condujo a este nuevo sistema del universo.

Se ha dicho que Copérnico le debe a Nicolás de Cusa su idea de que una esfera abandonada en el espacio vacío comenzaría a girar sin que fuera preciso nada que la pusiera en movimiento. Francis Bacon señaló que, antes de que se pudiera resolver el problema de los cielos, sería necesario estudiar la cuestión de lo que él denominaba «rotación espontánea». Galileo, que en ocasiones parece que hubiera imaginado la gravedad como algo absoluto —como una suerte de «atracción» que existiese en el universo independientemente de cualquier objeto del espacio—, ofreció una imagen fantástica de Dios según la cual este había dejado caer los planetas en dirección vertical hasta que hubieron adquirido por aceleración la velocidad requerida y, entonces, los había detenido y había transformado su movimiento rectilíneo en otro circular a la misma velocidad adquirida, pudiendo este movimiento, según los principios de la inercia, continuar indefinidamente. Todo el debate sobre la forma del universo llevaba implícito el problema específico del movimiento circular.

Copérnico fue el responsable de que se planteasen estos tres problemas tan formidables y, como ya hemos visto, se dio perfecta cuenta de su magnitud. En su opinión, había otros cuerpos además de la Tierra —el Sol y la Luna, por ejemplo— que poseían la virtud de la gravedad, pero no quería decir que la Tierra, el Sol y la Luna estuvieran reunidos en un sistema de gravitación universal o que se equilibraran el uno al otro en mutua armonía. Lo que pretendía indicar era que cualquier objeto terrestre aspiraría a reanudar el contacto con la Tierra incluso en el caso de haber sido llevado hasta la Luna. El Sol, la Luna y la Tierra tenían de hecho sus propios

sistemas, sus peculiaridades, sus tipos de gravedad apropiados. Además, para Copérnico la gravedad seguía siendo una tendencia o una aspiración del cuerpo alienado, el cual, por decirlo así, corría a reunirse con su madre; no se trataba de que la Tierra ejerciese una «atracción» sobre el cuerpo alejado de ella. Y como ya hemos visto, Copérnico consideraba que la gravedad era un ejemplo de la disposición de la materia a reunirse y adoptar una forma esférica. La teoría aristotélica implicaba lo contrario: la Tierra se volvía esférica porque la materia tenía una tendencia a agruparse lo más cerca posible de su centro.

En vista de los principios resaltados de este modo en el sistema de Copérnico, el famoso libro sobre el imán que publicó William Gilbert en 1600 adquiere una relevancia muy especial. De hecho, esta obra marca una fase nueva y de la máxima importancia en la narración de la historia de todo el problema que estamos exponiendo. Ya he dicho que, según Aristóteles, todas las formas de materia sublunar comprendían cuatro elementos y que uno de estos se denominaba «tierra»; no la que podemos coger con las manos, sino una sustancia más refinada y sublime, libre de las mezclas e impurezas que caracterizan a la tierra vulgar. Partiendo de este punto de vista, William Gilbert sostenía que la materia que se encontraba en la superficie del globo, o cerca de ella, era sobre todo desperdicio y sedimento —una envoltura puramente externa, como la piel y el pelo de un animal—, puesto que, al estar expuesta a la atmósfera y a la influencia de los cuerpos celestes, estaba particularmente sujeta al envilecimiento y a los efectos de la casualidad y del cambio. La «tierra» auténtica, el elemento aristotélico en su estado más puro, no se encontraba más que bajo el nivel del suelo, y formaba de hecho la mayor parte de la masa interior del globo. En una palabra, no era ni más ni menos que piedra imán. El mundo en el que vivimos era sencillamente, en su mayor parte, un inmenso imán.

Gilbert afirmaba que la fuerza de esta atracción magnética era la verdadera causa de la gravedad, y así se explicaba cómo se mantenían unidas las diversas partes de la Tierra. La fuerza de la atracción ejercida era siempre proporcional a la cantidad o masa del cuerpo que la ejercía: cuanto mayor era la masa de piedra imán, tanto mayor era la «atracción» que ejercía sobre el cuerpo extraño. Al mismo tiempo, no se consideraba que la

atracción representase una fuerza que actuaba a distancia o a través de un vacío, sino que era fruto de una exhalación sutil, un efluvio, según Gilbert. Y la acción era recíproca: la Tierra y la Luna se atraían, pero también se repelían, teniendo nuestro planeta un mayor efecto porque su masa era mucho mayor. Si se cortase en dos trozos un imán, las superficies del corte representarían polos opuestos y demostrarían una tendencia a reunirse de nuevo. Así pues, el magnetismo parecía constituir la tendencia de las partes a mantenerse unidas para formar un conjunto (la tendencia de los cuerpos, de las unidades de materia, a mantener su integridad). La opinión que Gilbert tenía de la gravedad implicaba un ataque a la idea de que cualquier mero punto geométrico —por ejemplo, el centro del universo— pudiera operar como verdadero punto de atracción, o que pudiera constituir la meta hacia la que se movía un objeto. Aristóteles había dicho que los cuerpos pesados eran atraídos hacia el centro del universo. Los escolásticos posteriores que adoptaron la teoría del ímpetu —Alberto de Sajonia, por ejemplo— habían desarrollado esta idea y habían resaltado el hecho de que en realidad era el centro de gravedad de un cuerpo el que tendía a reunirse con el centro del universo. Por otra parte, Gilbert insistía en que la gravedad no era una acción entre simples puntos matemáticos, sino una característica de la materia misma, un aspecto de las partículas afectadas por la relación. Lo que tenía importancia era la tendencia de parte de la materia a reunirse con materia. El proceso dependía del material del que se componía el imán, al ejercer este material su influencia sobre un objeto de naturaleza afín.

Francis Bacon se sintió atraído por esta idea de la gravedad y se le ocurrió que, si era cierta, un cuerpo situado en el fondo del pozo de una mina —en las entrañas de la Tierra— quizá pesara menos que en la superficie del globo, ya que una parte de la atracción ejercida desde abajo sería compensada por una atracción magnética contraria ejercida por la parte de la Tierra que ahora quedaba por encima. Y aunque esta hipótesis adolecía de algunos errores de bulto, en la segunda mitad del siglo XVII al parecer se intentó someterla varias veces a experimento; por ejemplo, Robert Hooke nos dice que lo intentó a instancias de Bacon, aunque no alcanzó un resultado satisfactorio. Las ideas de Gilbert sobre la gravedad fueron incorporadas al conjunto de las ideas generalizadas en el siglo XVII,

aunque no faltó quien las criticase, y durante mucho tiempo se confesó que la cuestión constituía un misterio. Robert Boyle escribió que, posiblemente, la gravedad se debía a lo que él denominaba «vapores magnéticos» de la Tierra. No obstante, estaba dispuesto a aceptar cualquier otra hipótesis; por ejemplo, que se debía a la presión que la materia —el propio aire y las sustancias etéreas por encima de la atmósfera— ejercía sobre todo cuerpo que se encontrase bajo ella.

William Gilbert construyó un imán esférico denominado *terrella*, y su comportamiento le confirmó su opinión de que el imán poseía las mismas propiedades que el globo en el que vivimos —es decir, atracción, polaridad, la tendencia a girar y el hábito de «adoptar posiciones en el universo acordes con la ley del conjunto»—, de modo que encontraba automáticamente su lugar adecuado en relación con el resto del cosmos. Gilbert decía que cualquier cosa que se mueva de manera natural en la naturaleza es impelida por su propia fuerza y por «un compacto aquiescente de los demás cuerpos». Había una correspondencia entre los movimientos de uno y otro cuerpo, de forma que daban lugar a una especie de coro; describía a los planetas como si cada uno observase la carrera de los demás y armonizasen todos ellos sus movimientos. La atracción de la gravedad hacia el centro no afectaba solo a los cuerpos sobre la Tierra, afirmaba, sino que operaba de modo similar sobre la Luna, el Sol, etcétera, y estos se movían en círculos también por motivos magnéticos. Además, el magnetismo era la causa de la rotación de la Tierra y de los demás cuerpos celestes alrededor de sus ejes, y no era difícil conseguirlo ni siquiera en el caso de la Tierra porque, como esta tiene un eje natural, está perfectamente equilibrada —sus partes tienen peso, pero la Tierra carece de él— y «la pone fácilmente en movimiento la menor causa». Sostenía que la Luna nos mostraba siempre la misma cara porque estaba unida magnéticamente a la Tierra. No obstante, al igual que Copérnico, consideraba que el Sol era el más poderoso de todos los cuerpos celestes; decía que era el principal incitador a la acción que había en la naturaleza.

De manera curiosa, las teorías generales de Gilbert habían encontrado preparado el camino al éxito y sus probabilidades en este sentido se habían visto en cierto modo facilitadas. Ya desde el siglo XIV había existido una

teoría según la cual las mareas eran el resultado de una especie de atracción magnética ejercida por la Luna. Esta idea perdió su popularidad entre los partidarios de Copérnico, pero a los astrólogos les atraía porque apoyaba su opinión de que los cuerpos celestes eran capaces de ejercer influencia sobre la Tierra. En el año que siguió a la publicación del gran tratado de Copérnico —es decir, en 1544— vio la luz un trabajo que atribuía las mareas al movimiento de la Tierra, y Galileo, como ya hemos visto, iba a adoptar esta teoría para transformarla en uno de sus argumentos más importantes a favor de la revolución copernicana. Morin, el astrólogo, en respuesta a Galileo, se declaró partidario de una opinión surgida en años anteriores del mismo siglo: la de que no solo la Luna, sino también el Sol, influía en los movimientos del mar. En cierto momento, Galileo estaba dispuesto a adoptar las teorías más generales de Gilbert de un modo vago e impreciso, aunque nunca pretendió haber comprendido el magnetismo ni su modo de actuar en el universo. Lamentaba que Gilbert hubiese sido un simple experimentador y que no hubiese sido capaz de explicar o describir matemáticamente los fenómenos magnéticos de la manera en que hemos visto que lo hacía el propio Galileo.

No obstante, incluso antes que Galileo, el gran astrónomo Kepler había sido influido por el libro de Gilbert y, al parecer, se había interesado ya por el magnetismo antes de que se hubiera publicado la obra del científico inglés. Kepler tiene por fuerza que ocupar un lugar importante en nuestro relato porque, bajo la influencia de la teoría del magnetismo, transformó todo el problema de la gravedad en otro acerca de lo que nosotros llamamos «atracción». Ya no se trataba de un cuerpo que aspirara a alcanzar la Tierra sino que, más bien, era esta la que trataba de atraer al cuerpo. «Poned una Tierra mayor junto a la nuestra —afirmó Kepler— y esta última adquirirá peso en relación con la mayor y tenderá a caer hacia ella, al igual que una piedra cae al suelo.» Y como en el caso de Gilbert, no se trataba de un punto geométrico, del centro de la Tierra que ejercía su fuerza de atracción, sino de la materia misma y de cada una de sus partículas. Si la Tierra fuese una esfera, la piedra tendería a caer hacia su centro por esta razón, pero si tuviese una forma distinta —si una de sus superficies fuese, por ejemplo, un cuadrilátero irregular— la piedra se movería hacia puntos diferentes según

se aproximase a la Tierra desde una dirección o desde otra. Kepler demostró, además, que la atracción entre los cuerpos era mutua —la piedra atrae a la Tierra al igual que la Tierra atrae a la piedra— y si no hubiera nada que impidiese la operación directa de la gravedad, entonces la Tierra y la Luna se acercarían y se encontrarían en un punto intermedio, cubriendo la Tierra un cincuenta y cuatroavo de la distancia —en el supuesto de que tuviera la misma densidad que la Luna—, porque era cincuenta y cuatro veces mayor que la Luna. Lo que impedía que la Tierra y su satélite entrasen de esta manera en colisión era el movimiento que describían en sus respectivas órbitas.

Vemos en Kepler esa curiosa mezcla entre gravedad y magnetismo que ya se apreciaba en Gilbert, a quien tanto admiraba, y que también vemos expresada en autores posteriores del siglo XVII. Al igual que en el ejemplo del imán roto, la gravedad podía ser descrita como la tendencia a reunirse que los cuerpos afines demostraban. Kepler pertenece también a la línea de autores que creían que las mareas obedecían a la acción magnética de la Luna, y se le ha criticado porque sus cadenas de atracciones magnéticas, que según él surgían de la Tierra, eran tan poderosas que hacían imposible que se lanzase un proyectil a través de ellas. Sin embargo, no llegó a la idea de la gravitación universal; por ejemplo, no consideraba que las estrellas fijas fuesen cuerpos térreos por naturaleza, dotados de gravedad, a pesar de que sabía que Júpiter proyectaba una sombra y que Venus no estaba iluminada por el lado opuesto al del Sol. Como Bacon, creía que los cielos se iban volviendo cada vez más etéreos —menos terrenales— conforme estaban más alejados de nuestro globo y se aproximaban a la región de las estrellas fijas. Consideraba asimismo que el Sol constituía un caso especial, dotado de una forma propia de gravedad.

Tras percatarse de que la velocidad de los planetas disminuía al alejarse estos del Sol, Kepler pensó que el hecho confirmaba la opinión a la que se aferraba místicamente en todos los casos; es decir, que el Sol era el causante de todos los movimientos que se apreciaban en el cielo, aunque actuaba por una clase de fuerza que disminuía al ejercerse a mayor distancia. Sostenía que los planetas recorrían sus órbitas impulsados por una especie de virtud que emanaba del Sol, una fuerza que giraba conforme este daba vueltas

sobre su eje y que actuaba, como quien dice, tangencialmente sobre el planeta. En una ocasión denominó a aquella fuerza *effluvium magneticum*, y parecía creer que se trataba de algo que se propagaba junto con los rayos de luz que emite el astro. Decía que si el Sol no girase, la Tierra no se movería en torno suyo, y que si esta no diera vueltas sobre su eje, tampoco la Luna giraría en torno de nuestro globo. La rotación de la Tierra alrededor de su eje se debía principalmente a una fuerza inherente al planeta, sostenía Kepler, pero el Sol también hacía algo para ayudarla. Admitiendo que la Tierra gira 365 veces en el transcurso de un año, creía que al Sol se le podían atribuir cinco de estas revoluciones.

Kepler no sabía nada de la doctrina moderna de la inercia, que supone que los cuerpos seguirán en movimiento mientras no intervenga algo que los detenga o los fuerce a cambiar de dirección. Según sus teorías, los planetas precisaban una fuerza constante que los empujase por los cielos y los mantuviese en estado de movimiento. Tenía que explicar por qué su órbita era elíptica en vez de circular, y para ello volvió a recurrir al magnetismo; el eje de los planetas, al igual que el de la Tierra, siempre se mantenía en una dirección fija y formando un ángulo determinado, de modo que el Sol unas veces los atraía hacia sí y otras los repelía, dando lugar a la elipticidad de la órbita. No obstante, la fuerza que impulsaba a los planetas no irradiaba en todas direcciones ni se distribuía por igual por todo el universo, como la luz, sino que se movía desde el Sol a lo largo del plano de la elíptica. La fuerza, como quien dice, tenía que saber dónde encontrar el objeto sobre el que debía actuar, no cubriendo todo el vacío, sino dirigiendo sus rayos dentro de los límites de un campo determinado. De modo similar, la idea de que el cuerpo atrayente tenía que percibir sensiblemente su objetivo —la Tierra debía saber dónde se encontraba la Luna para poder ser capaz de dirigir su «atracción» hacia aquellas partes— fue uno de los obstáculos que encontró en su camino la teoría de una atracción ejercida mutuamente entre los cuerpos a través de un espacio vacío.

El mundo parecía entonces ir aproximándose notablemente a la idea moderna de la gravitación en los tiempos de Kepler y Galileo, y ya se podían apreciar varios de los ingredientes de la doctrina moderna. No obstante, en este momento de nuestro relato se produce una desviación muy

importante que habría de producir un efecto muy marcado, alejando el pensamiento de su camino hasta mucho después de los tiempos del propio sir Isaac Newton. René Descartes, quien como ya hemos visto se había propuesto lo que podríamos describir como una reconstrucción del universo, partiendo tan solo de la materia y del movimiento y sirviéndose del método deductivo, llegó a un sistema universal que es fácil que nos parezca hoy, a primera vista, de poca importancia, a no ser que recordemos la enorme influencia que ejerció sobre hombres de ciencia eminentes durante el resto del siglo y aún más tarde. Al igual que en el caso de otros intentos más antiguos de dar una explicación total del universo, podríamos sentirnos inclinados a pensar de manera retrospectiva, quizá debido a ilusiones ópticas, que la mente humana, al buscar una síntesis demasiado amplia y hacerlo con un apresuramiento excesivo, es capaz de llegar a producir efectos brillantes, pero que a la larga no son más que obstáculos futuros que se impone a sí misma.

Ya hemos visto que a pesar de todos sus esfuerzos para destruir los prejuicios del pasado, Descartes se dejó guiar alguna vez por datos obtenidos y transmitidos por los autores escolásticos, y cayó así en varios errores. Es curioso asimismo ver que dos importantes principios aristotélicos ayudaron a darle al universo su nueva forma en la reconstrucción de Descartes: en primer lugar, la opinión de que el vacío es un imposible y, en segundo lugar, la de que dos objetos no podían ejercer influencia uno sobre otro más que si estaban en contacto físico y real; no podía existir nada parecido a la atracción, ninguna clase de acción a distancia. Como resultado de esto, Descartes insistió en que cada fracción de espacio tenía que estar ocupada enteramente y en cada instante por materia continua, una materia considerada divisible hasta el infinito. Se suponía que las partículas estaban agrupadas tan íntimamente que ninguna de ellas podía moverse sin comunicar su movimiento a las contiguas. Esta materia formaba torbellinos en los cielos, y los planetas se movían porque cada uno de ellos era arrastrado por su torbellino particular, como si se tratase de briznas de paja en la corriente de un río —arrastrado por una materia con la que estaban en íntimo contacto—, y al mismo tiempo eran mantenidos en los lugares que les correspondían en el espacio. Como

estaban todos atrapados de la misma manera en un torbellino mayor, cuyo centro estaba en el Sol, sucedía que ellos —y sus respectivos torbellinos— eran arrastrados por el cielo para describir sus grandes órbitas alrededor de aquel. La gravedad misma no era sino el resultado de aquellos torbellinos de materia invisible, cuyo efecto consistía en arrastrar a los objetos hacia abajo, hacia su propio centro. Los principios matemáticos que regían a dichos torbellinos eran de naturaleza demasiado compleja para alcanzar en aquellos tiempos más que resultados aproximados en el cálculo de la maquinaria del universo. Los partidarios de Descartes quedaron expuestos a la acusación de haber reconstruido el sistema de las cosas basándose demasiado en meras deducciones y de insistir en fenómenos que consideraban necesarios desde el punto de vista de la lógica, pero de los que nunca pudieron aportar pruebas. En los tiempos de Newton, el sistema de Descartes y la teoría de los vórtices o torbellinos demostraron ser demasiado vulnerables frente a los ataques, tanto de las matemáticas como de los experimentos.

Al mismo tiempo, algunos de los que creían en el *plenum* —la idea cartesiana de un espacio completamente lleno de materia— añadieron nuevos ingredientes a la que iba a ser la síntesis de Newton. El propio Descartes llegó a formular en su forma moderna la ley de la inercia —la idea de que el movimiento continúa en línea recta hasta que surja algo que lo interrumpa— extrayéndola por deducción de su teoría de la conservación del momento, según la cual la cantidad de movimiento del universo es siempre constante. Fue más bien él y no Galileo quien llegó a captar del todo el principio de la inercia y quien lo formuló con toda su claridad actual. Un contemporáneo suyo, Roberval, fue el primero en enunciar la teoría de la gravitación universal —aplicándola a la materia independientemente de su situación en el espacio—, aunque no descubrió ninguna ley que explicase las variaciones de intensidad de la fuerza gravitacional al operar a distintas distancias. Lo que él veía era una tendencia difundida por toda la materia que hacía que tratase de reunirse, y opinaba que la Luna habría caído sobre la Tierra si no fuera por lo espeso que era el éter en el espacio que las separaba; es decir, que de hecho la

materia existente entre la Tierra y la Luna oponía una resistencia que contrarrestaba el efecto de la gravedad.

Esto sucedió en 1643. Hasta 1665 no se produjo un nuevo avance importante cuando Giovanni Alfonso Borelli, aunque opinaba con Kepler que era necesaria una fuerza que emanase del Sol y que empujase a los planetas a lo largo de sus órbitas, dijo que los planetas caerían sobre el Sol, debido a un «instinto natural» a aproximarse hacia el cuerpo central, si el efecto de la gravedad no se viese contrarrestado por una tendencia centrífuga, la de los planetas a abandonar la línea curva de sus órbitas, al igual que una piedra tiende a salir despedida desde la honda que la hace girar. Así pues, aunque no llegó hasta las últimas consecuencias al no percatarse de que los planetas se movían gracias a la inercia, ni alcanzó tampoco a comprender la naturaleza de la fuerza de gravedad que atraía a los planetas hacia el Sol, Borelli nos dio la imagen de los planetas equilibrados gracias a dos fuerzas opuestas: una que tendía a hacerlos caer hacia el Sol y otra que propendía a hacerlos salir despedidos por la tangente a su órbita. En el mundo de la Antigüedad —por ejemplo, en una obra de Plutarco que Kepler conocía muy bien— la Luna había sido comparada con una piedra en su honda, en el sentido de que su movimiento circular compensaba el efecto de la gravedad. Borelli no fue capaz de llevar su hipótesis más allá de un estado de vaga especulación, y ello se debió a que nunca llegó a comprender las matemáticas de la fuerza centrífuga.

Ya para entonces (1665) existían la mayoría de los elementos de la teoría de la gravitación de Newton, aunque se encontraban distribuidos por las obras de toda una serie de hombres de ciencia, de forma que nadie estaba en poder de todos ellos al mismo tiempo. Descartes había adelantado la doctrina moderna de la inercia y estaba ganando rápidamente adeptos, aunque algunos, como Borelli, a quien acabamos de mencionar, parecían seguir creyendo que se precisaba una fuerza que empujase físicamente a los planetas a lo largo de sus trayectorias. La idea de que la gravitación era universal, de que actuaba entre todos los cuerpos, también había hecho su aparición, y gracias a ella se había vuelto comprensible que el Sol ejerciese una atracción sobre los planetas y que la Tierra hiciese que la Luna no saliese despedida hacia los confines del espacio. Entonces en 1665 aparece

la sugerencia de que el movimiento gravitatorio queda equilibrado por una fuerza centrífuga, una tendencia de los planetas a salir despedidos a lo largo de una tangente desde la honda que los mantenía en su sitio. Todas estas ideas —inercia, gravitación y fuerza centrífuga— pertenecen a la mecánica terrestre; representan precisamente los puntos de la dinámica que había que comprender en su última esencia y armonizar para que fuera posible resolver los movimientos de los planetas y el problema de toda la mecánica de los cielos. No obstante, si bien por un lado se tenía todo esto, por otro estaban todos los descubrimientos de los astrónomos, que tenían que ser incorporados a la síntesis final, y entre estos se hallaban las tres leyes de la gravitación de Kepler, la que describe las órbitas como elípticas, la que dice que la línea que une al Sol con un planeta cualquiera cubre una superficie constante en un espacio constante de tiempo, y la que sostiene que el cuadrado del tiempo de la órbita es proporcional al cubo de la distancia media hasta el Sol. Había que demostrar matemáticamente que los planetas se comportaban del modo en que decía Kepler, en el supuesto de que sus movimientos se rigieran por las leyes mecánicas que he mencionado.

Huygens elaboró las matemáticas necesarias para la acción centrífuga, sobre todo el cálculo de la fuerza que sería necesaria para que la piedra no se escapase de la honda y evitar que saliese lanzada tangencialmente. Al parecer logró esta fórmula en 1659, pero no publicó los resultados que había obtenido hasta 1673, como apéndice a su obra sobre el reloj de péndulo. No obstante, a Huygens no se le ocurrió nunca aplicar sus ideas sobre el movimiento circular y la fuerza centrífuga a los planetas, es decir, al problema de los cielos, y parece que el factor que le retuvo, impidiéndole seguir adelante, fue la influencia de las ideas de Descartes respecto a los cuerpos celestes. En 1669 trató de explicar la gravedad como resultado del efecto aspirador de los vórtices de materia con que Descartes había llenado todo el ámbito del universo, e intentó ilustrarlo haciendo girar un recipiente lleno de agua y demostrando de qué manera las partículas más pesadas que nadaban en el agua se movían hacia el centro al ir menguando la velocidad del giro. También creía por aquellos tiempos que el movimiento circular era algo natural y fundamental, no algo que requiriese una explicación especial, y que el movimiento rectilíneo en el caso de los graves al caer, al igual que

sucedía con las partículas de agua que giraban en el recipiente, era una derivación del movimiento circular.

Un autor que ha escrito sobre Keats ha intentado demostrar que durante el periodo anterior a la composición del soneto «On First Looking into Chapman's *Homer*», el poeta había dejado volar su mente —familiarizándose gradualmente con él— por el campo de lo que podríamos describir como su fecunda imaginación. Unas veces se trataba de un experimento para descubrir nuevas verdades astronómicas y otras de un intento de resumir en una frase poética la experiencia del explorador; pero, uno tras otro, todos sus intentos habían fracasado. No obstante, la mente del poeta había recorrido una y otra vez este campo y a la larga había alcanzado cierto grado de tensión, de forma que cuando llegó el momento de la exaltación —es decir, ante el estímulo producido por el *Homer* de Chapman—, las imágenes felices de aquellos dos campos idénticos produjeron rápidamente su precipitado en la mente poética. El soneto fluyó sin esfuerzo de su pluma, sin preparación aparente alguna, aunque de hecho hacía tiempo que había ocurrido una intensa labor subterránea.

Así pues, conforme iba transcurriendo el siglo XVII las mentes de los hombres recorrían una y otra vez todos los campos del saber que hemos estado estudiando, tratando de reunir los datos de una manera u otra sin alcanzar nunca el éxito, aunque no cabe duda de que se iba creando una fuerte tensión. Uno había captado una pieza estratégica del rompecabezas; otro, en un campo completamente distinto, o que lo parecía entonces, había encontrado otra pieza. Pero ninguno de los dos se había dado cuenta de que, si se unían, se complementarían a la perfección. Comenzaban ya a converger piezas aisladas del problema, y la situación había madurado ya hasta un punto en que cualquier joven que efectuara un estudio completo de todo el campo y tuviera suficiente elasticidad mental, estaba ya en condiciones de reunir todas las piezas del problema y, con un poco de intuición, colocarlas ordenadamente. En efecto, la intuición necesaria iba a ser tan sencilla que, una vez lograda, cualquiera se podría preguntar por qué aquella cuestión le había ocasionado tantas dificultades al mundo entero.

El papel de Newton en esta historia ha sido hace poco objeto de controversias, y se ha manifestado la duda de si es cierta su aseveración de

que llegó a su síntesis mientras todavía era un hombre muy joven. Se ha demostrado que hasta cierto periodo poco anterior al que tratamos, sus notas no dejan adivinar ninguna destreza especial. Sin embargo, en los años 1665 y 1666 realizó ya descubrimientos importantes tanto en óptica como en matemáticas, mientras que tampoco se puede desechar a la ligera su relato retrospectivo acerca de los descubrimientos que hizo en lo tocante a la teoría de la gravitación. Parece como si, por su actuación independiente, hubiera encontrado en esos años las fórmulas necesarias en relación con la fuerza centrífuga antes de que hubiera sido publicada la obra de Huygens sobre este tema. También había descubierto que los planetas se moverían en aparente conformidad con las leyes de Kepler si fueran atraídos por el Sol con una fuerza que variaba de intensidad en proporción inversa al cuadrado de alejamiento del astro; en otras palabras, había conseguido dar expresión matemática a la forma en que actuaba la fuerza de la gravedad. Basándose en los resultados obtenidos, comparó la fuerza requerida para mantener una piedra dentro de la honda, o la Luna en su órbita, con el efecto de la gravedad (es decir, con el comportamiento de los graves al caer sobre la superficie de la Tierra). Comprobó que ambas se correspondían si se tenía en cuenta el hecho de que la gravedad variaba de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Newton hablaba de la Luna como si se tratase de un proyectil que tendía a escapar en línea recta pero al que la gravedad de la Tierra obligaba a describir una curva, y vio que sus hipótesis encajaban perfectamente con la teoría de que la fuerza de la gravitación universal disminuía proporcionalmente con el cuadrado de la distancia. El camino de acercamiento —debido a la atracción de la Tierra— que la Luna tenía que recorrer cada segundo para conservar su órbita circular concordaba del modo requerido con el descenso de un grave que cayese aquí, en la superficie terrestre. La anécdota de Newton y la manzana es auténtica y, cuando menos, estaba destinada a tener una especie de validez típica, ya que, si no se hubiese tratado de una manzana, cualquier otro cuerpo terrestre, al caer, le habría servido de base de comparación. Sea como fuere, el hecho esencial fue la demostración de que cuando la nueva ciencia de la mecánica terrestre era aplicada a los cuerpos celestes, las matemáticas satisfacían a ambos casos. Así pues, parece que Newton

alcanzó su síntesis esencial en 1665-1666, aunque quedaban algunos puntos de la demostración que no le satisfacían, y ello le hizo dejar de lado su trabajo durante varios años.

A mediados de la década de 1660, Borelli, Newton, Huygens y Hooke estaban lidiando con diversos aspectos del mismo problema planetario, siguiéndose algunos mutuamente los pasos en el estudio de la naturaleza de la luz. Huygens había visitado Londres, había realizado experimentos para la Royal Society, intercambiaba correspondencia con varios miembros de aquella sociedad y probó en Inglaterra sus relojes de péndulo, que datan de 1657. Independientemente, sin embargo, en Inglaterra habían comenzado ya experimentos con el péndulo, y hombres como Christopher Wren, William Croone, William Ball y Laurence Rooke, al parecer habían iniciado ya la investigación de las leyes del movimiento, siendo Robert Hooke quien tiene en su haber la mayoría de los experimentos. Es casi imposible averiguar hasta qué punto se influyeron mutuamente en sus respectivos trabajos Huygens y los hombres de ciencia ingleses. A partir de 1670 comienza una de las décadas de mayor importancia en la Revolución científica, por no decir el punto álgido del movimiento, y tanto en Londres como en París había círculos de hombres de ciencia cuyos éxitos durante aquel periodo son realmente notables. En lo que se refiere a la teoría de la gravitación, es difícil resistirse a la tentación de pensar que no deberíamos fijar nuestra atención tan solo en la persona de Newton, sino también en la labor conjunta de todo el grupo inglés. Se ha señalado que la Royal Society, siguiendo los principios de Bacon, trataba de recabar de todo el mundo los datos necesarios para establecer la hipótesis de Copérnico y, cuando menos en teoría, sus miembros quizá se ayudasen unos a otros, «comunicándose libremente sus métodos y acumulando los beneficios obtenidos». Los nombres que más destacan aquí son los de Isaac Newton, Robert Hooke, Edmond Halley y Christopher Wren. Hooke nos sorprende por la cantidad, la variedad y la ingeniosidad de sus experimentos, así como por la extraordinaria fertilidad que demostró en el establecimiento de nuevas hipótesis. Siguió a Bacon en su intento de demostrar que los efectos de la gravedad sobre un cuerpo tenían que disminuir conforme este se hundiese en las entrañas de la Tierra. Trató de descubrir hasta qué punto los efectos

eran alterados a gran altitud o en las proximidades del ecuador, y arrojó algo de luz sobre el problema gracias a sus observaciones y experimentos sobre el péndulo. De la forma esférica de los cuerpos celestes y de la configuración de los cráteres lunares dedujo que la Luna y los planetas tenían que poseer gravedad, y ya en 1666 vio que el movimiento de un cometa en su trayectoria curva, por ejemplo, era un efecto de la atracción gravitatoria que el Sol ejercía sobre él, y sugirió que el movimiento de los planetas podía ser explicado por medio del mismo tipo de principios que los que explican el movimiento del péndulo. En 1674 planteó ya la posibilidad de que, por este camino, se pudiese llegar a un sistema mecánico de los planetas que sería «la verdadera perfección de la astronomía». Apuntó que, aparte de la influencia que el Sol ejercía sobre los planetas, había que tener en cuenta la fuerza que todos los cuerpos celestes ejercían, o así había que suponerlo, los unos sobre los otros. Hacia 1678 había formulado la idea de la gravitación como un principio universal, y al año siguiente había descubierto también que la disminución de la fuerza de la gravedad es proporcional al cuadrado de la distancia. Hay indicios de que durante este periodo Newton anotó algunas observaciones que sugieren que no estaba muy seguro de sus teorías anteriores; en aquellos tiempos demostró menor firmeza en sus convicciones que Hooke en las suyas. Al mismo tiempo, se requirió varias veces su ayuda como matemático. Al parecer existían ciertas dudas, en particular entre los ingleses, acerca de la validez de la ley de Kepler referente a la órbita elíptica de los planetas. Newton ofreció una demostración del hecho de que la atracción ejercida sobre los planetas hacía necesaria la adopción de una órbita elíptica en lugar de una circular. Hooke habría de reclamar la primicia del descubrimiento de toda la teoría de la gravitación, y puesto que Newton había mantenido en secreto sus trabajos de los años 1665 y 1666, muchos de los escritos de Hooke habían desaparecido y la memoria de Newton no siempre era muy exacta —o sus escritos no siempre eran de fiar—, la controversia sobre este punto se ha reanudado en estos últimos años. Con todo, aparte de la evidencia de que cuando menos el interés de Newton por este asunto era anterior, Hooke no llegó a ofrecer la demostración matemática de su sistema. Tan solo se puede decir a su favor que durante el periodo crucial estaba desarrollando su

capacidad matemática más de lo que se creía. Su reputación ha aumentado, por tanto, gracias a las investigaciones históricas, aunque ello no haya eclipsado para nada la gloria de Newton.

Deberíamos observar que mientras Kepler había considerado que los planetas estaban sujetos a unas fuerzas que emanaban del Sol, la idea expuesta por Hooke y desarrollada por Newton presentaba un cielo mucho más complejo, un sistema armonioso en el cual los cuerpos celestes contribuían todos a gobernarse mutuamente en mayor o menor grado. Los satélites de Júpiter se apoyaban o actuaban el uno sobre el otro del mismo modo que influían en el propio planeta, mientras que este, por su parte, ejercía sobre ellos un poder todavía mayor. No obstante, Júpiter, junto con su colección de satélites, estaba en poder del Sol —sobre el cual ejercía, aunque en menor escala, una cierta atracción gravitatoria— y también sufría la influencia de otros planetas próximos. Como observó Newton más adelante, el Sol era tan preponderante sobre todos los demás cuerpos que la influencia de los menores tenía poca importancia y, por la misma regla de tres, tampoco había que tener demasiado en cuenta la influencia de la Luna sobre la Tierra. Se había observado al mismo tiempo, sobre todo en Inglaterra, que cuando Júpiter y Saturno se aproximaban, sus movimientos mostraban una irregularidad que no se observaba nunca en ningún otro punto de sus trayectorias respectivas. También la Luna producía ligeras alteraciones en la órbita terrestre. En virtud de algunas perturbaciones similares que se observaron en el planeta Urano, en 1846 los astrónomos pudieron deducir la existencia de un nuevo planeta, Neptuno, antes de que hubiera sido avistado. Por tanto, todo el sistema era mucho más intrincado en la década de 1670 de lo que se había creído en la primera mitad del siglo; todo el cielo presentaba un juego mucho más complejo de armonías matemáticas. Una de las virtudes de la nueva teoría de los cielos habría de ser su capacidad de explicar algunas de las anomalías menores, así como abarcar todo un mundo de influencias mutuas de mucho más alcance que nada de lo que pudiera haber imaginado Kepler.

Isaac Newton volvió sobre esta cuestión a mediados de la década de 1680. Su mayor dificultad se debía por lo visto al hecho de que, aunque la gravedad actúa, como hemos visto, entre todas las partículas de materia, él

tenía que efectuar sus cálculos matemáticos desde un punto geométrico a otro —desde el centro de la Luna hasta el centro de la Tierra, por ejemplo —. No obstante, en 1685 consiguió demostrar que era correcto, matemáticamente, trabajar partiendo de esta suposición, como si toda la masa de la Luna estuviese concentrada en su centro, de forma que se pudiese considerar que toda su gravedad actuaba desde aquel punto. Además, sucedió que, aunque los datos con los que había trabajado durante el periodo de 1665 y 1666 no eran completamente erróneos, en 1684 tenía a su disposición observaciones y cálculos mucho más exactos; una expedición francesa de 1672, a las órdenes de Jean Picard, había permitido medir simultáneamente en Cayena y en París la altitud de Marte, y los resultados de la expedición hicieron posible establecer un cálculo más aproximado de la distancia media de la Tierra al Sol, que resultó ser de 139 millones de kilómetros —lo cual se aproxima más a la cifra moderna de 165 millones—, así como revelar de forma todavía más clara la magnitud del sistema solar. Fue posible incluso conseguir una medición más exacta de las dimensiones de la propia Tierra. Los éxitos obtenidos por aquella expedición, aunque ya habían sido enviados a imprenta en fecha anterior, no fueron asequibles a todo el mundo hasta la fecha de su publicación, en 1684, y aquel fue el material que empleó Newton para efectuar los últimos cálculos y completar su sistema. Por tanto, a mediados de la década de 1680 hubo motivos convergentes que le llevaron a reanudar el estudio del problema que había abandonado veinte años antes, y esta vez se mostró satisfecho de los resultados obtenidos y de las demostraciones, que acabó en 1686 y comunicó al mundo en sus *Principia* en 1687.

Uno de los objetivos de Newton al publicar su sistema fue demostrar la imposibilidad de la teoría de los vórtices o torbellinos que había formulado Descartes. Demostró que un torbellino no se comportaría matemáticamente en la forma en que había supuesto Descartes, y que un planeta prisionero de un torbellino no lo haría de acuerdo con las observaciones hechas por Kepler respecto al movimiento planetario. Además, no sería posible que un cometa en su trayectoria atravesase todo el sistema, de un torbellino a otro, en la forma requerida por la teoría. Sea como fuere, si todo el espacio estaba relleno de materia suficientemente densa para llevar sobre sí a los

planetas en sus vórtices, la fuerza de un medio tan resistente daría lugar a la desaceleración de todos los movimientos del universo. Por otra parte, parece ser que ni siquiera los matemáticos captaron enseguida el significado de los *Principia*, y hubo muchos, sobre todo los que estaban bajo la influencia de Descartes, que consideraron poco científico a Newton porque había vuelto a sacar a relucir dos cosas que habían sido descartadas como otras tantas supersticiones, a saber, la idea de un vacío y la de una influencia que pudiera operar a través del espacio entre los cuerpos que no se tocaban. Algunos consideraban que su «atracción» era como un salto atrás hacia las antiguas herejías que habían atribuido a la materia algo así como un poder oculto. En realidad, Newton negaba que se hubiera permitido explicación alguna de la gravitación o nada que no fuera una descripción matemática de las relaciones que, según se había comprobado, existían entre masas de materia. No obstante, en un momento dado al parecer se inclinó por la idea de que la causa de la gravedad se encontraba en el éter (que se volvía menos denso en la Tierra o en sus proximidades y que adquiría el mínimo de densidad en el Sol o en sus cercanías), en cuyo caso la gravedad sería la tendencia de todos los cuerpos a moverse en dirección al lugar donde el éter poseía menor densidad. En otro momento opinó por lo visto que su gravitación significaba un efecto distribuido por todo el espacio y cuyo origen tenía que ser Dios, algo que hacía lógicamente necesaria la existencia de Dios y que salvaba al universo del exceso de mecanización en el que lo había sumido Descartes. Y según hemos visto, Newton creía también que ciertos fenómenos astronómicos que se salían de lo corriente —combinaciones y conjunciones extrañas, o el paso de un cometa— podrían producir ligeros desajustes en el mecanismo celeste que reclamaban la intervención continua del Señor.

Sus grandes contemporáneos Huygens y Leibniz criticaron con dureza el sistema de Newton, y la postura de estos ayudó a fortalecer la filosofía de Descartes en Europa durante muchos años. Intentaron encontrar explicaciones mecánicas a la gravedad, bien atribuyéndola a la acción y la presión de una materia sutil difundida por todo el universo, bien volviendo a la idea del magnetismo. Los ingleses, en general, apoyaban a Newton, mientras que los franceses se solidarizaban con Descartes, y el resultado fue

una controversia que duró hasta bien entrado el siglo XVIII. Tanto Descartes como Newton eran geómetras de primerísima fila, pero la victoria final de este último tiene para nosotros un significado especial, porque justificó la alianza de la geometría con el método experimental frente al complejo sistema deductivo de Descartes. Los espacios limpios y relativamente vacíos de Newton acabaron llevándose la palma frente a un universo cartesiano, repleto de materia y agitado por torbellinos, cuya existencia no corroboraba ninguna observación científica.

9
LA TRANSICIÓN HACIA EL MOVIMIENTO *PHILOSOPHE* DURANTE EL REINADO DE LUIS XIV

Acabamos de ver lo que parecen ser las líneas estratégicas en la historia de la Revolución científica del siglo XVII, y hemos visto de qué manera estaba relacionada de modo muy concreto esta revolución con el estudio del movimiento, tanto sobre la Tierra como en el cielo, y cómo dicha historia culmina en aquella síntesis de la astronomía y la mecánica que logró el sistema de sir Isaac Newton. El momento al que hemos llegado destaca por fuerza como uno de los más altos en la historia de la existencia humana, porque aunque los problemas no fueran resueltos hasta el último detalle, y aunque Newton no pudiera decir qué es lo que causa la gravitación, sobresale de toda la narración el hecho de que nos encontramos ante uno de aquellos periodos en que, al resolver ciertos problemas, el hombre adquirió nuevos hábitos mentales, nuevos métodos de investigación; fundó la ciencia moderna de una manera prácticamente casual. Además, se descubrió en el sistema de Newton que la Tierra y el cielo podían ser reunidos bajo un mismo techo y reducidos a un solo sistema de leyes fundamental, con lo cual quedó abierta la posibilidad de cambiar de actitud ante todo el universo. Ya hemos visto que se hicieron intentos plenamente conscientes de extender el sistema mecanicista en sí, así como los métodos científicos que tan excelentes resultados habían dado en la física, para que alcanzasen también los fenómenos químicos e incluso los biológicos. Hemos visto asimismo que, en correspondencia consciente con el sistema mecanicista, se habían vuelto a desempolvar las antiguas doctrinas y filosofías atomistas, o se estaba comenzando a reformarlas según nuevos conceptos. No sucede con frecuencia que los historiadores puedan reunir en un único grupo un abanico tan amplio de cambios intelectuales que constituyan, en conjunto,

una transformación tan general de los puntos de partida del pensamiento humano.

No obstante, todo esto no representa más que una pequeña parcela en el enorme ámbito de la importancia de la Revolución científica, y sería un error no dirigir nuestra mirada hacia los lados, por un momento, con el fin de estudiar las repercusiones de la nueva forma de pensar sobre la vida y la sociedad del siglo XVII. La historia de la ciencia no debería limitarse a existir por sí sola, en un entorno separado, y si hemos aislado algunos de sus aspectos y los hemos sometido a un examen más minucioso, lo hemos hecho únicamente con la finalidad de destacar que los cambios intelectuales que se dieron en esos momentos poseyeron un significado especial para la historia general en su más amplio sentido. Por tanto, sería útil ahora retroceder y ver en qué lugar se sitúa el movimiento científico del siglo XVII dentro de la historia universal de la civilización. Para hacerlo, no podríamos escoger mejor punto de partida que el momento preciso en que nos encontramos a estas alturas de la narración de la Revolución científica, el momento en que podemos decir que el movimiento había alcanzado una existencia propia. Incluso para los fines que ahora perseguimos, el momento crítico parece estar situado en la década de 1680, cuando, como ya hemos visto, un puñado de hombres de ciencia, en Londres y en París, estaba coronando la cima del saber con notables proezas científicas; precisamente los años que culminaron en la publicación de los *Principia*, de Newton, en 1687.

Para poder comprender la evolución que se produjo, no podemos comenzar de mejor manera que señalando el valor del principal agente transmisor de los resultados obtenidos por los hombres de ciencia hacia el mundo exterior en aquel tiempo, el escritor francés Fontenelle. Marca el hito más importante entre la Revolución científica y el movimiento *philosophe*. Tiene especial interés para nosotros porque vivió de 1657 a 1757, de modo que su vida cubrió todo el periodo de profunda evolución que nos interesa en estos momentos. Y sirve de ejemplo porque, por una parte, fue el primero de los *philosophes* franceses, mientras que, por otra, inventó y explotó toda una técnica de divulgación. Fue secretario de la Académie des Sciences desde 1699 hasta 1741, y quizá fuera conveniente

comenzar, ante todo, por ciertos datos que nos da en sus famosos *Éloges*, las oraciones fúnebres a un gran número de hombres de ciencia de aquellos tiempos, que pronunció en calidad de secretario de la Academia. Una vez examinado lo que constituye un punto crítico de la transición intelectual, trataremos más adelante de encontrar el lugar que le corresponde a toda la narración en una visión más extensa de la historia de la civilización, con el fin de destacar nuevos aspectos del paso hacia lo que solemos llamar la Era de la Razón.

Si estuviéramos ordenando según su importancia las diversas formas de evidencia histórica, la mayoría de nosotros quizá nos inclinásemos por colocar las oraciones fúnebres en la más inferior y la menos fidedigna de las clases. Pero sucede con frecuencia, en el caso de cualquier clase de documento, que el testigo adquiere su mayor importancia precisamente en aquellos aspectos que trataba de no revelar, y el historiador se encuentra desempeñando el papel de detective y no hay nada en el mundo que no pueda darle algún indicio. De hecho, Fontenelle era un narrador extraordinariamente sutil y diplomático, e incluso en lo que no tenía que ser nada más que un elogio, conseguía introducir, sin ofensa para nadie, algún dato sobre los puntos débiles del hombre de ciencia en cuestión, como en el caso de uno que sentía inmerecidos celos de sus colegas y de sus inferiores. Al mismo tiempo, parece que empleó sus discursos como vehículo propagandístico en pro del movimiento científico, y del carácter de esta propaganda surgen aspectos interesantes; por ejemplo, allí donde arremete suavemente contra los métodos educativos empleados entonces o protesta contra los prejuicios religiosos, encontramos muchas y muy útiles informaciones sobre las controversias de entonces.

Sin embargo, cuando descubrimos algunos de los puntos más interesantes —aquellos que, por su situación, Fontenelle estaba en mejores condiciones de conocer a fondo— es cotejando un gran número de sus cortas biografías y comparando lo que en ellas nos dice. Siempre existe una fase en la historiografía de un movimiento, de una revolución o de una guerra que puede ser denominada la «época heroica»; el periodo primitivo en la redacción de la historia, cuando los hombres crean mitos, cuentan sus trofeos y se vanaglorian, exuberantes por la derrota del enemigo, o, según la

costumbre de los orangistas, celebran festines conmemorativos. En cierto sentido, se puede decir que los *Éloges* de Fontenelle contribuyen algo a nuestra descripción porque nos suministran precisamente esta saga de la Revolución científica. Si examinamos algunos de los ejemplos, no es el nombre de los hombres de ciencia en particular lo que nos interesa ni lo que se dice específicamente de cada uno de ellos, sino más bien la forma en que están construidos estos discursos biográficos y el efecto acumulativo del conjunto de la serie.

Dado el carácter de esta colección de vidas, es natural que no nos enfrentamos a pioneros aislados como Galileo, sino a un movimiento que lleva camino de volverse general. De las biografías de Fontenelle parece sacarse la impresión de que los que se unían al movimiento procedían a menudo de familias acomodadas, y con una frecuencia notable se trataba de hijos de *avocats*, como era su propio caso. Muchas veces parece que se trataba de jóvenes destinados a ingresar en el clero y a quienes sus padres habían dado una educación teológica. Pero una y otra vez nos encontramos ante el mismo esquema en el curso de estas biografías: el joven encuentra fastidiosos los métodos pedagógicos que entonces se empleaban, y le parece que le están educando a base de palabras vacías y no de hechos. Y entonces suele suceder el mismo cuento fantástico.

De una persona, Bernoulli, se nos dice que vio por casualidad unas figuras geométricas y que al instante se sintió atraído por su encanto, lanzándose luego al estudio de la filosofía de Descartes. Otro, Amontons, se quedó sordo después de una enfermedad y tuvo que interrumpir su educación regular, de modo que pudo dirigir su mente a cualquier lado que le apeteciese, comenzó a estudiar máquinas y se dedicó a proyectar un *perpetuum mobile*. Régis estaba destinado a la Iglesia, y conforme se iba cansando de la cantidad de tiempo que tenía que dedicar a un trabajo de muy poca trascendencia, se encontró por casualidad con la filosofía cartesiana y se sintió enseguida atraído hacia ella. Tournefort descubrió la filosofía de Descartes en la biblioteca de su padre y acto seguido se dio cuenta de que aquello era precisamente lo que su alma había estado anhelando durante tanto tiempo. Louis Carré fue otro caso igual: tenía que haber sido sacerdote, pero la idea le repugnaba; entonces descubrió la

filosofía de Descartes, que le abrió un nuevo universo ante los ojos. Malebranche se sintió tan entusiasmado por las obras de Descartes que abandonó todo lo demás para dedicarse de lleno al estudio de su filosofía. A Varignon le llegó a las manos, por casualidad, un volumen de Euclides y se sintió entusiasmado por la disparidad entre aquello y las sofisterías y oscurantismos que le habían enseñado durante toda la vida; se dejó arrastrar por la geometría a la lectura de Descartes *y* descubrió en él una nueva luz. El holandés Boerhaave estaba estudiando teología, pero al comenzar el estudio de la geometría se sintió enteramente dominado por esta, por su encanto invencible. Todo ello suena igual que los relatos de las conversiones de los primeros años del cristianismo, cuando uno tras otro los hombres van viendo la luz que cambia por completo el curso de su vida. Y el movimiento se generaliza en aquellos que representaban una nueva generación, gozosos de verse liberados de la carga, de la rutina y de los prejuicios que pesaban sobre sus padres. Todo está quieto durante el periodo heroico; la idea científica llega como una nueva revelación y sus apóstoles van contando el número de conversos. Uno de los agentes de la transición es la geometría, en particular la influencia de Descartes, que era muy poderosa en aquel tiempo.

Además, los resúmenes biográficos de Fontenelle nos suministran datos relativos al sorprendente éxito social que alcanzaron las ciencias durante el reinado de Luis XIV. Al estudiarlos en conjunto vemos que el periodo que más destaca es la década de 1680, debido principalmente a que por entonces habla muchas veces como testigo visual y nos da destellos de luz que iluminan su autobiografía. Probablemente comenzó a reunirse con algunos de los miembros más destacados del nuevo movimiento alrededor de esta fecha, y en 1683 o 1684 había entablado un contacto claro e indiscutible con el movimiento. Esto quiere decir que estableció relaciones con los hombres de ciencia en un momento de plena euforia —en el momento preciso en que la narración alcanza uno de sus puntos culminantes—, y llama la atención que, aunque por aquellas fechas no contase Fontenelle más de unos veinticinco años e iba a vivir todavía más de setenta, no solo pertenecen a este periodo sus impresiones más vivas, sino que gran parte de sus opiniones más firmes quedaron ya sólidamente establecidas entonces.

Sabemos que París estaba abarrotado de extranjeros que iban a la ciudad para asistir a las conferencias u observar las demostraciones de los hombres de ciencia; un año hubo nada menos que cuarenta escoceses que fueron a escuchar al famoso químico Lémery, a cuyos cursos asistían verdaderas muchedumbres de mujeres —arrastradas por la moda, según nos dicen—, y uno de los resultados de su popularidad fue que estuvieran en boga sus preparados medicinales. Régis, el filósofo, había creado un estímulo en Toulouse, donde había despertado, tanto entre el clero como entre los magistrados, un gran interés por el cartesianismo, y en 1680 había ido a París, donde «la afluencia de gente era grande, tanto que no se podían reunir todos en una casa particular; la gente llegaba mucho antes de la hora del comienzo con el fin de asegurarse un asiento». Los mejores actores del teatro italiano comenzaron a aprender la filosofía de Descartes, pero la impresión causada por Régis fue tan profunda que el arzobispo de París tuvo que poner fin a las reuniones. Otro hombre de ciencia, el anatomista Du Verney, atraía a las jovencitas al estudio de su ciencia. «La anatomía —escribe Fontenelle—, confinada hasta ahora en las escuelas de medicina, se atreve a asomarse al *beau monde*.» Y añade: «Recuerdo haber visto a gente del *beau monde* llevándose los ejemplares disecados preparados por él para poder enseñarlos en el círculo de sus amistades». Más tarde, cuando ya era profesor en el Jardin Royal, el tal Du Verney atraía a grandes masas de estudiantes; asistieron a su curso ciento cuarenta extranjeros en un solo año. Nos dice más cosas sobre un grupo de normandos que formaban en París un círculo muy interesante al que asistían el propio Fontenelle, Varignon —el famoso geómetra—, el célebre abate de Saint-Pierre y Vertot, un historiador. Nos cuenta que los aristócratas patrocinaban la ciencia, que el químico Lémery fue admitido en los salones del príncipe de Condé, a los que iban numerosos hombres de ciencia; por su parte, a Du Verney se le pidió contribuir a la educación del delfín, con lo cual la asistencia a sus conferencias se volvió más distinguida que nunca. Fontenelle hace la interesante observación de que las matemáticas ganaron mucho terreno en aquel decenio, aunque también observa significativamente que el estallido de la guerra en 1688 —el conflicto bélico entre Luis XIV y Guillermo III de Inglaterra— ejerció una influencia nefasta.

Entonces, en 1686, Fontenelle publicó su famoso diálogo *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos*, la primera obra francesa que aclaró los descubrimientos de la ciencia de una forma inteligente y amena, poniéndolos al alcance del público en general. Por muchos conceptos, este libro es un modelo entre todas las obras de divulgación científica que han aparecido hasta los tiempos presentes. Fontenelle se dedicó con plena conciencia a darle a la ciencia un carácter ameno que estuviera al alcance de las señoras de la buena sociedad y que se leyese tan fácilmente como la última novela, y es importante que anotemos aquí que, antes de dedicarse a la ciencia, había comenzado su vida como escritor; era un literato malogrado, había escrito poemas anodinos y había fracasado como dramaturgo. En cierto modo, constituye un ejemplo típico de todo el movimiento *philosophe* francés del siglo XVIII, y fue uno de los que contribuyeron a inaugurarlo. Los resultados de la Revolución científica fueron traducidos rápida y precipitadamente a una nueva visión del mundo, y aquella labor la ejecutaron en mucha mayor medida los escritores que los hombres de ciencia. Fontenelle escribió algunas obras sobre matemáticas, pero no tuvo ninguna importancia como hombre de ciencia; no le recordamos por ningún descubrimiento científico propio. Era la persona adecuada para escribir los discursos fúnebres, por su versatilidad y porque estaba familiarizado con muchas ramas de la ciencia, algo que le situaba en posición de poder juzgar los descubrimientos de los especialistas en campos muy dispares. Como hombre de mundo que era, se percataba de lo que estaba de moda y ofrecía precisamente aquello que más se deseaba en el momento; publicó sus *Conversaciones sobre la pluralidad de los mundos* un año antes de que aparecieran los *Principia*, y en ellas daba una idea general de los cielos tal y como eran concebidos antes de los tiempos de Newton. Intentó un estilo juguetón que llevó hasta los mayores extremos, basado en un diálogo lleno de aquello que se llamó *esprit*, empleando artimañas expositivas tan ingeniosas y agudas que en ocasiones llegan a parecer tediosas. «Una mezcla de lo pedante y de lo *précieux* calculada para que cuaje bien entre la burguesía y el provincianismo», según dijo alguien.

Fontenelle no solo popularizó los éxitos científicos del siglo XVII. Es importante que nos demos cuenta de que el literato interviene en este

momento de la evolución científica para desempeñar un papel secundario, la traducción de los descubrimientos de la ciencia a una nueva visión de la vida y del universo. Muchos de los hombres de ciencia del siglo XVII habían sido protestantes y católicos fervientes, y durante este mismo periodo tanto Robert Boyle como Isaac Newton demostraron un considerable fervor cristiano; incluso Descartes había creído que su obra ayudaría a la causa de la religión. Casi había sido un empeño místico y una preocupación religiosa lo que había empujado a un hombre como Kepler a reducir el universo a un sistema de leyes mecánicas con el fin de demostrar que Dios era consecuente y razonable, y que ni siquiera había dejado las cosas a merced de su propio capricho. Como ya he indicado, Fontenelle era algo parecido a un Talleyrand: encantador, escéptico y evasivo, con una pizca de pesimismo y otro poco de cinismo en su actitud frente a la naturaleza humana. Había sido ya un escéptico incluso antes de entrar en contacto con el movimiento científico; había aprendido de Lucrecio y de escritores más modernos, como Maquiavelo y Montaigne. Su escepticismo tenía en realidad una raíz literaria, que contribuye a dar a los resultados del movimiento científico del siglo XVII un sesgo que casi nunca se aprecia en los propios hombres de ciencia, y que Descartes hubiera repudiado. Ello se veía fortalecido por la actitud obstruccionista del clero católico romano de Francia, que ayudó a consolidar la opinión de que la Iglesia era enemiga del descubrimiento científico e incluso de cuanto fuera novedoso. A este respecto es importante observar que el gran movimiento del siglo XVIII tenía un carácter literario; durante aquel periodo no fueron los descubrimientos de la ciencia los que determinaron el nuevo giro que habrían de dar los acontecimientos y la ruta que iba a seguir la civilización occidental, sino el movimiento *philosophe* francés. Los descubrimientos de la ciencia del siglo XVII fueron traducidos a una nueva perspectiva y una nueva visión del mundo, y no fueron los hombres de ciencia los que lo hicieron, sino los herederos y sucesores de Fontenelle.

Así pues, durante la gran transición del siglo XVII al XVIII no se desarrolla simplemente una evolución orgánica del pensamiento humano; en varios puntos se da, si se me permite la expresión, una solución de continuidad en la transmisión, y son precisamente estos curiosos fallos,

estas discontinuidades, los que iluminan con nueva luz toda la estructura y la fábrica de la historia general. Existe también una solución de continuidad en las generaciones; los jóvenes se rebelan contra las ideas y los sistemas pedagógicos de sus padres. Se da ese llamamiento que ya había lanzado Galileo y que llegó a su culminación en Fontenelle y sus sucesores, a un nuevo árbitro del pensamiento humano; a un público lector más extenso contra el mundo del saber de entonces, tanto contra la Iglesia como contra la universidad. Encontramos una nueva discontinuidad al percatarnos de que son los escritores, los literatos, los que, a veces con demasiada premura, ejecutan la trascendental tarea de traducir los resultados de la labor científica a un idioma de nuevos conceptos, a una nueva visión del mundo. Por último, encontramos la más fundamental de todas las discontinuidades, el advenimiento de una nueva clase social.

Después de largas luchas, los reyes de Francia habían conseguido rematar, de la manera más definitiva posible, la labor cuya ejecución ha sido el deber de la institución monárquica a lo largo de la historia europea: reunir las provincias en una unidad nacional, reducir el poder de los pequeños tiranos e inculcar sobre el parroquialismo de las gentes primitivas el concepto más elevado del Estado. En la década de 1680, Luis XIV había alcanzado la cima de su poderío en Francia; las consecuencias desastrosas de su política no habían comenzado todavía a socavar los cimientos de su labor, y como la Fronda, el poder de una aristocracia rebelde, había sido vencida, a partir de 1660 se apreció un notable retorno a la estabilidad en Francia tras un largo periodo de inquietud, miseria y anarquía que más de una vez había puesto en peligro a la monarquía. Se ha dicho que esta vuelta a la estabilidad hubiera sido suficiente por sí sola para producir un notable renacer de la actividad económica, incluso si no hubiese existido nunca Colbert para organizarlo, de modo que quizá se le haya atribuido demasiada importancia a la labor de este estadista y a la función directora del Gobierno. Y es posible que los que estudian la historia no subrayen suficientemente la importancia primordial de la estabilidad nacional entre los factores que han ayudado a los progresos de la civilización, y que se dieron precisamente durante este periodo. La rivalidad francobritánica en el campo económico resulta apreciable a finales del siglo XVII, y si analizamos

la situación en ese momento, tenemos la sensación de que la Revolución industrial habría de producirse en Francia antes que en Inglaterra. Francia era en aquellos tiempos el país más densamente poblado de Europa; sobre todo el comercio con las Indias Occidentales había experimentado un notable desarrollo, y se ha calculado que a finales del siglo XVII unas cuatrocientas mil personas se ganaban la vida, directa o indirectamente, por medio del comercio con las colonias. Las referencias que aparecen en la literatura de la época demuestran que el país se vio inundado por una oleada de especulación mucho antes del famoso cataclismo relacionado con el nombre de John Law a principios del siglo XVIII, al igual que durante el reinado de Guillermo III existía ya en Inglaterra, en cierto grado, la fiebre especulativa que ya había sufrido Holanda en tiempos aún anteriores. No solo había perdido terreno la vieja nobleza, sino que nuevas clases estaban alcanzando la posición clave, la supremacía intelectual.

Saint-Simon, el famoso memorialista de aquel tiempo, pertenecía a la vieja *noblesse* y escribía con todos los prejuicios de esa clase. Nos llama la atención sobre un aspecto del reinado de Luis XIV que con frecuencia pasamos por alto y que él llama, con indignación, «un largo reinado de la vil burguesía». Fue la nobleza la que dirigió el movimiento hugonote durante el siglo XVI en las guerras civiles, y durante aquella etapa la burguesía se había mantenido alejada casi por completo de la literatura. Durante una gran parte del siglo XVII el predominio eclesiástico fue tan poderoso, tanto en la vida política como en la intelectual —por ejemplo, había un elevado número de cardenales ocupando altos puestos en el Estado —, que los historiadores de la Francia de aquel periodo hablan del Renacimiento católico. No obstante, en la época que estamos tratando se aprecia a ojos vista que la textura de la sociedad estaba cambiando. El propio Colbert era hijo de un pañero. Toda una serie de los personajes más distinguidos del reinado de Luis XIV —Corneille, Racine, Molière, Boileau, La Bruyère, Pascal, etcétera— procedían de la misma clase social, y hemos visto otras señales del incremento de su influencia y de su importancia intelectual entre los propios hombres de ciencia. Toda aquella nueva evolución durante el reinado de Luis XIV habría sido todavía más notable si la segunda mitad de su reinado no hubiera sido desastrosa para el

tipo de Estado que la política de Colbert había creado y si a ello no le hubiese seguido una reacción de la nobleza. Incluso así, el periodo de 1660 a 1760 ha sido denominado «la edad de oro de la burguesía francesa».

Cuando hombres como Galileo y Descartes se decidieron a escribir sus obras en lengua vernácula en vez de emplear el latín, confesaron haberlo hecho con el fin de apelar a un público lector inteligente frente a los eruditos; el hecho en sí tenía cierta importancia, y en Alemania se registró algo similar durante la Reforma. Aquí aparece implícita una de esas discontinuidades de la historia de la civilización que ya hemos observado en otros aspectos del tema; porque en la transferencia de la supremacía intelectual, al referirse a un nuevo árbitro en el mundo del pensamiento, se perderá sin remedio una parte de la herencia intelectual que lleva en sí una civilización, como vemos en el caso paralelo de la apelación marxista a otro nuevo árbitro, el proletario, en la actualidad. En el caso de Francia durante el periodo que estamos tratando, existen motivos particulares que justifican por qué las clases medias lograron alcanzar el predominio intelectual.

Con una curiosa humildad, o con un inusual sentido de los verdaderos valores de la vida, la burguesía francesa, algo avergonzada de su clase y despreciando los ideales burgueses, se mostró ansiosa por salir, a la primera oportunidad, del bullicio y del conflicto de la vida económica, por conformarse con ingresos modestos pero seguros, por construirse un *hôtel* y remedar a la aristocracia. En lugar de reinvertir su dinero en la industria y el comercio y educar a sus hijos para que fueran capaces de continuar el trabajo en la empresa paterna, compraban tierras o *rentes*, o bien uno de los cargos políticos, humildes pero seguros, que existían en cantidad sorprendente en cualquier población de dos mil almas. Si no, se dedicaban a la profesión de la jurisprudencia o de la medicina y huían del mundo de los negocios, que despreciaban en el fondo de sus corazones tan pronto como conseguían alcanzar cierta posición económica. El propio Colbert se quejaba de la pérdida que aquella nueva forma de vida burguesa ocasionaba al desarrollo económico del país. Los viajeros comparaban desfavorablemente a Francia con Holanda, donde los hijos aceptaban de buen grado ser educados con la finalidad de continuar y ampliar el negocio

paterno. Como ha dicho un historiador francés, una «hemorragia de capital lo drenaba del negocio nada más haber sido creado».

De modo que había unas fuerzas en acción que estaban haciendo de la burguesía una clase numerosa, pero que a menudo impedía que sus miembros aislados llegasen a reunir fortunas considerables o adquiriesen poderío económico. Por otra parte, el horizonte comercial de Francia se iba estrechando a causa de todo esto; se limitó el espíritu empresarial y el «ingreso fijo» pasó a ser el ideal doméstico de la clase media; nos encontramos ante la psicología de una nación de *rentiers*. Y el motivo del extraordinario éxito económico de los hugonotes quizá fuera, en parte, que tenían cerradas muchas puertas con vistas a llegar a funcionarios del Estado o a meros ornamentos de la sociedad, de modo que no les quedaba más remedio que seguir dedicados a sus negocios. Por otra parte, se puede decir que la clase media francesa tenía un profundo sentido de los valores reales de la vida —al subordinar la empresa a la finalidad de la «buena vida»— y que si todas las naciones hubieran hecho lo mismo, se habría producido un retraso muy oportuno que hubiese frenado un progreso unilateral y desproporcionado de la vida y de la sociedad. De todos modos, tiene importancia para la historia general de la cultura que existiera en Francia una burguesía que podía permitirse el ocio, que buscaba los placeres de la vida social y sentía deseos de apadrinar las artes y las ciencias. La clase media se dejaba impresionar poco por la autoridad o por la tradición, y tanto Fontenelle como autores posteriores del movimiento *philosophe* adoptaron la actitud de darle a la labor intelectual un carácter más accesible y más placentero, a diferencia de todo lo que habían hecho las formas más antiguas de controversia académica o escolástica. Mientras que la «razón» había sido algo que precisaba ser disciplinado a fuerza de un entrenamiento largo e intenso, el sentido mismo de la palabra comenzó a cambiar y cualquiera podía decir que la poseía, en particular si su mente no había sido ahormada por la educación y por las tradiciones. De hecho, «razón» adquirió un significado mucho más parecido a lo que hoy en día llamaríamos «sentido común».

Ni la transición hacia las ideas modernas ni el nacimiento del movimiento *philosophe* surgen de la Revolución científica por los que

podríamos llamar cauces normales, o sea por una evolución lógica de ideas puras y simples. Indudablemente, durante algún tiempo se perdieron toda una serie de valores de nuestra tradición intelectual; se podría escribir un volumen entero solo con las cosas perdidas entonces y que hemos recuperado hoy, o sobre los múltiples casos en los que hemos tenido que descubrir de nuevo el significado de ideas que durante un periodo muy largo habían sido eliminadas por considerarlas inservibles. Además de esto, toda la transición se efectuó mediante conflictos intelectuales —con los que se mezclaban pasiones, malos entendimientos y discrepancias—, y quienes estaban luchando contra el oscurantismo de las universidades, del sacerdocio y de los aristócratas provincianos se sentían tentados a comportarse como esforzados caballeros; no tenían tiempo para preocuparse por si se producía alguna baja innecesaria en el curso de la batalla. Además, es curioso que Francia alcanzase el predominio intelectual en Europa gracias al prestigio de una impresionante colección de escritores clásicos que asociamos con la corte de Versalles. El movimiento que hemos estado estudiando se desarrolla detrás de esa impresionante fachada, casi en la sombra, y un historiador de la literatura lo reúne con el título «La decadencia de la era de Luis XIV», a pesar de que, desde el punto de vista que hemos adoptado en estas páginas, el movimiento no era decadencia sino, muy al contrario, germinación. Lo que nos interesa aquí es otra discontinuidad cultural muy curiosa: la supremacía intelectual que Francia había alcanzado gracias a cómo destacó en cierta clase de literatura, la empleó en el siglo XVIII para difundir una civilización de tipo completamente distinto.

Existe todavía otro aspecto en el cual los cambios intelectuales sucedidos en el reinado de Luis XIV atañen a la historia de la ciencia, especialmente por cuanto representan la difusión del método científico a otros campos del pensamiento humano. En este caso se trata de la política, y todos los historiadores lo destacan como un punto importante por constituir el comienzo de una evolución que habría de conducir a la Revolución francesa. Si por una parte, durante el reinado de Luis XIV la monarquía francesa cumplió su cometido tan completamente como nunca más lo iba a hacer, por otra nos encontramos con las primeras críticas contra la

institución monárquica; ya no se trata del obstruccionismo y la rebeldía de las clases privilegiadas, sino de la intensa crítica de los sectores de la intelectualidad francesa que tenían derecho a pretender que comprendían mejor que el propio rey la idea del Estado. Después de alcanzar la cima en la década de 1680, el reinado de Luis XIV comenzó un declive de mal presagio que es el que mejor se recuerda en Inglaterra, y desde 1695 hasta 1707 se dirigieron contra la monarquía toda una serie de críticas de sabor moderno. Los discursos fúnebres de Fontenelle llaman la atención sobre un aspecto de esta corriente que con frecuencia se pasa por alto, a saber: el efecto inicial del nuevo movimiento científico sobre el pensamiento político.

Estos reformadores políticos no eran todavía ideólogos como en tiempos posteriores, ni autores doctrinarios a la manera de los *philosophes*. Escribían partiendo de su propia experiencia, y Fontenelle, como había tenido que tratar con varios hombres de este tipo (pues eran miembros, cuando menos honorarios, de la Académie des Sciences, con un cargo u otro), llamó la atención sobre el efecto que les estaba causando el movimiento científico. El primer resultado —el resultado natural— de la transferencia de los métodos científicos al ámbito político, como destaca Fontenelle, fue insistir en la política precisa del método inductivo, de la compilación de información, de la acumulación de datos concretos y estadísticos. Fontenelle señala, por ejemplo, que quien gobierna un Estado necesita absolutamente estudiar el país igual que lo haría un geógrafo o un hombre de ciencia. Describe, aprobándolo, que Vauban, el gran ingeniero militar y uno de los críticos de Luis XIV, viajó por toda Francia recabando datos, viendo por sí mismo el estado en que se encontraban las cosas, estudiando el comercio y sus posibilidades y acumulando valiosos conocimientos de la variedad de condiciones locales. Vauban, dice Fontenelle, hizo más que nadie para arrancarles las matemáticas a los cielos y darles explicaciones más terrenales y de gran utilidad. En otro lugar Fontenelle afirma, exagerando un poco, que la estadística moderna se debe única y exclusivamente a Vauban; de hecho, fue este quien puso la estadística al servicio de la economía política moderna, y fue el primero en aplicar el método racional y experimental a las finanzas públicas.

Asimismo, Fontenelle nos dice que en Inglaterra sir William Petty, el autor de *Political Arithmetic*, demostró hasta qué punto los conocimientos requeridos para gobernar se reducen a cálculos matemáticos. Incluso allí donde el movimiento estaba tomando un sesgo marcadamente doctrinario, como en el caso del amigo de Fontenelle, el abate de Saint-Pierre, vemos que se estaba concretando una interesante propuesta. Saint-Pierre deseaba fundar un cuerpo de políticos científicos que estudiasen toda clase de proyectos destinados a mejorar los métodos de gobierno o a conducir de mejor manera los asuntos económicos. Se trataba de unos cuerpos de expertos que debían encargarse de los diversos asuntos del Gobierno, o que quedarían adscritos a los distintos ministerios con el fin de actuar como consejeros. Al parecer Saint-Pierre estaba dispuesto a animar a todo el mundo a que presentara proyectos de mejora para su estudio y consideración por parte del Gobierno. Cuando, en el siglo XVIII, la supremacía intelectual pasó a los hombres de letras, de formación clásica y retórica, se desvió la atención de aquel aspecto científico de la política, y la literatura política tomó un nuevo rumbo al que en general no tenemos más remedio que aplicar el adjetivo de «doctrinario».

En un ensayo sobre «La utilidad de las matemáticas», Fontenelle propuso una doctrina general que estaba comenzando a ser de uso común:

> El espíritu geométrico no está tan ligado a la geometría que no se pueda liberar de ella y ser transportado a otras ramas del saber. Cualquier obra sobre moral, política, crítica y, quizá, hasta sobre elocuencia sería mejor (manteniendo constantes todas las demás cosas) si se escribiese al estilo del geómetra. El orden, la claridad, la precisión y la exactitud que desde hace algún tiempo han quedado de manifiesto en los libros buenos podrían muy bien tener origen en este espíritu geométrico […]. Algunas veces, un gran hombre le imprime su sello a todo un siglo; [Descartes], a quien se puede atribuir legítimamente la gloria de haber establecido un nuevo arte de razonar, era un excelente geómetra.

Si Descartes estaba muy de moda en tiempos de Luis XIV, Bacon fue escogido, si se nos permite la expresión, como el santo patrón de los enciclopedistas franceses, y ambos, como ya hemos visto, animaban a revisar todos los conocimientos tradicionales y ponían en duda toda la herencia intelectual que habían recibido. Fontenelle nos da un ejemplo de la transferencia del espíritu científico y de la aplicación de la duda metódica

en otra de sus obras, titulada la *Historia de los oráculos*. En cierto sentido es uno de los precursores del método comparativo en la historia de la religión, de la recopilación de mitos de todos los países con el fin de arrojar luz sobre la evolución de la razón humana. Para aprender más sobre los estadios primitivos de nuestra historia, nos recomienda estudiar las tribus primitivas, que existen todavía, los pieles rojas y los lapones. Trata a los mitos como si fueran productos naturales susceptibles de un análisis científico, y no como frutos de una impostura consciente, sino como la característica de un cierto estado de la evolución humana. Considera que la mente humana ha sido la misma, esencialmente, en todos los tiempos y en todas las edades, pero que está sujeta a las influencias locales, que se ve afectada por el estado de desarrollo social alcanzado, por el carácter del propio país y por el clima en el que viven los seres humanos en aquel momento. Emplea la historia clásica, o las narraciones de navegantes y viajeros en el puerto de Ruan, o los relatos de los misioneros jesuitas, como material para el estudio comparativo de los mitos. Nos encontramos ante un intento, consciente de sí mismo, de demostrar cómo el método científico se podría aplicar de modo más general y podría ser transferido del examen de los fenómenos matemáticos puros al campo de lo que podríamos llamar «estudios humanos». Y tuvo importancia que la duda metódica, sobre la que había insistido Descartes desde los más altos niveles —y con implicaciones peculiares, así como bajo una disciplina particularmente estricta, como ya hemos visto—, fuera algo que se vulgarizase con tanta facilidad, algo que estaba cambiando ya de carácter en tiempos de Fontenelle hasta llegar a ser, sencillamente, una actitud de incredulidad de lo más ramplona: justo la forma de escepticismo que él había querido evitar a todo trance.

10
EL LUGAR QUE OCUPA LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA EN LA HISTORIA DE LA CIVILIZACIÓN OCCIDENTAL

La pasión de Ranke, cualquiera que fuese el periodo de la historia que estaba estudiando, era tratar de situarlo en el lugar que le correspondía en lo que él llamaba «historia universal», que era el puerto al que arribábamos —el mundo que se abría por fin ante nuestros ojos— si nos aventurábamos lo bastante en el estudio de un relato. Llegó a aferrarse a aquel propósito de tal manera que acabó describiendo la finalidad de su vida, la de todos sus estudios, como la búsqueda del «océano de la historia universal». Es extraño que hayamos permitido que este aspecto, uno de los más insistentes de su mensaje, sea el que más solemos dejar de lado en nuestros estudios de historia; tanto que tenemos la tendencia a pasarlo por alto incluso cuando estudiamos al propio Ranke. Una vez examinados muchos de los aspectos internos del movimiento intelectual del siglo XVII, podría sernos útil, no obstante, ensanchar nuestra perspectiva, situándonos a mayor distancia de los acontecimientos que hemos estado estudiando, y tratar de encontrar las repercusiones de estos últimos en el curso general de la historia de la civilización occidental.

Hasta una fecha relativamente reciente —es decir, hasta los siglos XVI o XVII—, la civilización que existía en esta parte del planeta había girado, durante miles de años, en torno al Mediterráneo, y durante la era cristiana había estado integrada principalmente por ingredientes grecorromanos y hebreos antiguos. Incluso durante el Renacimiento fue Italia la que guio intelectualmente a toda Europa, y más tarde la cultura hispánica habría de llegar todavía a su culminación; los reyes de España gobernaron uno de los grandes imperios de la historia, y este fue el país de mayor crecimiento en la Contrarreforma. Hasta un periodo no muy posterior al del Renacimiento,

la supremacía intelectual de la civilización existente en esta zona de la Tierra había correspondido a los países del extremo oriental del Mediterráneo, o a los imperios que se extendían todavía más lejos, hacia lo que denominamos Oriente Próximo. Mientras nuestros antepasados anglosajones se mantenían en un estado de semibarbarie, Constantinopla y Bagdad eran ciudades fabulosamente poderosas que desdeñaban el primitivismo del Occidente cristiano.

Dadas las circunstancias, no tenemos más remedio que explicar por qué Occidente llegó a ostentar la supremacía en esta región del mundo y teniendo en cuenta el carácter grecorromano de la cultura europea en general, esclarecer también la división del continente y dilucidar por qué acabó surgiendo la que íbamos a llamar «cultura occidental». No es difícil encontrar explicaciones. Ya cuando el Imperio romano se extendía por todo el Mediterráneo había habido tensiones entre el Este y el Oeste, que se acentuaron notablemente cuando se fundó una segunda capital del imperio y las influencias orientales tuvieron ocasión de aunarse y fijar su centro de acción en la ciudad de Constantinopla. Durante el periodo que siguió —la era de las invasiones bárbaras—, las diferencias se acentuaron al mantenerse Constantinopla firme ante los ataques, asegurando de este modo la continuidad de la cultura clásica, mientras que, como ya hemos visto, Occidente quedó tan maltrecho que hubieron de transcurrir siglos hasta que consiguiese reanudar la línea cultural que había abandonado tanto tiempo atrás, volviendo a reunir los fragmentos e incorporándolos a su modo de vida propio. El abismo religioso que se abrió entre Roma y Bizancio en la Edad Media (cuando las diferencias de opinión religiosa parecían penetrar en todos los ámbitos del pensamiento) acentuó las discrepancias entre griegos y latinos, y produjo divergencias en las líneas evolutivas; por ejemplo, en Occidente la fricción entre la Iglesia y el Estado constituyó un estímulo extraordinario para el progreso de la sociedad y el surgimiento del pensamiento político. Occidente se desarrolló independientemente, pero aunque quizá poseyera mayor dinamismo, quedó rezagado durante mucho tiempo. Incluso en el siglo XV, en el periodo del Alto Renacimiento, los italianos estaban dispuestos a postrarse a los pies de maestros exiliados de Constantinopla y a acogerlos con el mismo entusiasmo con que se recibió

no hace mucho tiempo a hombres como Einstein en Inglaterra o en Estados Unidos. No obstante, ya para entonces los visitantes procedentes del Imperio bizantino comenzaban a expresar su admiración por los adelantos tecnológicos de Occidente.

Sin embargo, un factor muy importante en la decadencia de Oriente y el resurgimiento de la preponderancia intelectual occidental ha sido pasado por alto en nuestras enseñanzas históricas; se trata de un factor que ha desempeñado un papel decisivo en el establecimiento del mapa de Europa, así como en la historia de la civilización europea. Desde el siglo IV hasta el XX, el conflicto entre Europa y Asia constituye uno de los aspectos más notables de la historia; un conflicto de dimensiones colosales que se extiende a lo largo de quince siglos, y en el que, hasta los tiempos en que se publicaron los *Principia*, de Newton, eran los asiáticos los agresores. Entre los siglos IV y XVII, cuando todavía albergaban esperanzas de alcanzar el Rin, la mayor amenaza para Europa la constituían las sucesivas hordas invasoras que partían desde el corazón de Asia, siguiendo una ruta que, por regla general, pasaba por el norte del mar Negro (una región que, casi hasta los tiempos de la Revolución francesa, fue una especie de tierra de nadie a causa de esto), aunque más tarde partían del sur del mar Caspio y penetraban en Asia Menor hasta la zona mediterránea. Comenzando con los hunos y siguiendo con los ávaros, búlgaros, magiares, pechenegos, cumanos, etcétera, estas hordas, generalmente de raza turca o mongola, se sucedían en ocasiones con tanta rapidez una tras otra que cada grupo era impulsado hacia el interior de Europa por la presión que ejercía en su retaguardia la que le seguía, o toda una serie de ellas; se combatían mutuamente mientras avanzaban en dirección oeste, todo lo cual culminó en las invasiones mongolas del siglo XIII y las conquistas de los turcos otomanos más tarde.

Los invasores asiáticos tuvieron que ver con la caída de Roma y del Imperio occidental hace mil quinientos años; conquistaron Constantinopla, la segunda Roma, en 1453, y durante muchos siglos mantuvieron virtualmente esclavizada a Rusia y dominaron Moscú, que más adelante habría de ocupar la posición de una tercera Roma. Ellos eran los que cubrían el Este como una nube negra y constante y quienes, con el paso del

tiempo, transformaron en un desierto los países del Mediterráneo oriental, y también fueron ellos los que acabaron con la gloria de Bagdad. Debido a la actividad de estos bárbaros durante tantos siglos, fue la Europa occidental la que surgió en la historia moderna como heredera universal de la civilización grecorromana. A partir del siglo X de nuestra era, aquellos asiáticos, aunque nos habían atormentado durante siglos y habían llevado sus ataques hasta las costas atlánticas, no consiguieron nunca más invadir Occidente ni llegar más que a sitiar Viena. El siglo X constituye algo así como la fecha en que se restableció la estabilidad, el momento en que se inicia el adelanto notable realizado por la civilización occidental. Uno de los aspectos interesantes del periodo, que llega a su apogeo en el Renacimiento, es el surgimiento de Europa occidental como un ente independiente y consciente de su predominio cultural.

No obstante, un aspecto primordial del Renacimiento, como ya hemos visto, es que completa y lleva a su más alta cima el largo proceso por el cual el pensamiento clásico iba siendo recuperado y asimilado en la Edad Media. Incluso se llega a exagerar, pues en algunos momentos se lleva hasta extremos ridículos, el espíritu de subordinación a la Antigüedad, que fue una de las causas de que el latín se transformase en una lengua muerta. Es posible que se produjeran nuevas combinaciones de ideas, pero no podemos decir que hasta el Renacimiento se introdujeran en nuestra civilización ingredientes nuevos, ni tampoco que se produjeran cambios intelectuales destinados a modificar el carácter de nuestra sociedad o de nuestra civilización. Incluso la secularización del pensamiento, a la que se llegó en algún punto aislado y en círculos determinados en aquellos tiempos, no era un hecho sin precedentes, y tiene que ser considerado como una especie de planta de invernadero que muy pronto habría de sucumbir ante el fanatismo de la Reforma y de la Contrarreforma. No podemos evitar que nos asombre, por ejemplo, el poder que durante buena parte del siglo XVII tuvo la religión tanto sobre el pensamiento como sobre la política.

Algunos han dado a entender a veces que durante el siglo XVII no sucedió nada nuevo, ya que la misma ciencia natural llegó hasta el mundo moderno como una herencia de la antigua Grecia. Nosotros mismos, en el curso de nuestro estudio, hemos tenido más de una vez la impresión de que

la Revolución científica no habría ocurrido —ya que ciertas líneas de desarrollo importantes se habían visto interrumpidas durante largos periodos— si no se hubieran vuelto a estudiar el pensamiento de la Antigüedad y se hubiese conseguido recuperar una cierta cantidad de lo que fue la ciencia griega. No obstante, se puede argüir contra todo esto que lo acontecido en el siglo XVII, tal y como lo hemos estudiado, representa uno de los grandes episodios de la experiencia humana y que debería ser incluido —junto con el éxodo de los antiguos judíos o la conquista de los grandes imperios por parte de Alejandro Magno y de la antigua Roma— entre las aventuras épicas que han hecho de la especie humana lo que es hoy. Representa uno de esos periodos en los que entran cosas nuevas en el mundo y en la historia, cosas que surgen de la propia actividad creadora del hombre y de su incesante lucha en pos de la verdad. No parece haber indicio alguno de que el mundo de la Antigüedad, antes de que se dispersara a los cuatro vientos su herencia, se dirigiese hacia nada que se pueda comparar con la Revolución científica, ni de que en el Imperio bizantino, a pesar de la continuidad que supuso en las tradiciones clásicas, se hubiera captado nunca el pensamiento antiguo y hubiese sido vuelto a moldear gracias a un gran poder transformador. Por tanto, tenemos que considerar a la Revolución científica como un producto de la actividad creadora de Occidente, dependiente de un complejo conjunto de condiciones que no se dieron más que en Europa occidental, y quizá dependiente también, en parte, de cierta cualidad dinámica de la vida y de la historia de esta mitad del continente. Además, no solo se introdujo en la historia un nuevo factor en este tiempo, entre otros factores, sino que demostró ser tan vigoroso, poseer tal vitalidad y ser tan diversas las zonas donde desarrolló su actividad que, desde el primer momento, asumió una posición directiva y —permítaseme la expresión— comenzó a dominar el resto de los factores, de igual manera que la cristiandad, en la Edad Media, había llegado a predominar sobre todo lo demás, infiltrándose hasta los últimos rincones de la vida y del pensamiento. Y cuando hablamos de que la civilización occidental ha sido llevada a un país oriental como Japón durante las últimas generaciones, no nos referimos a la filosofía grecorromana ni a los ideales humanistas, ni tampoco a la conversión de

Japón al cristianismo, sino a la ciencia, la manera de pensar y toda la estructura de la civilización que estaban comenzando a cambiar la faz de Occidente en la segunda mitad del siglo XVII.

Creo que sería cierto afirmar que, para el historiador, quizá diferenciándolo del estudioso de la prehistoria, no existen en sentido absoluto civilizaciones que surgen y desaparecen; no hay nada más que la trama ininterrumpida de la historia, la marcha incesante de las generaciones que se superponen una a otra y que se compenetran, de modo que hasta la historia de la ciencia no es más que una parte de un relato continuo de la humanidad, que llega hasta mucho más atrás que los propios griegos. Aun así, no es posible que recordemos toda la historia si no aparecen en ella de cuando en cuando puntos destacados, como si fuera un océano sin puntos de referencia, y por eso hablamos de civilizaciones aisladas, como si se tratase de células separadas unas de otras; pero no podemos abusar de esta artimaña, ni mucho menos olvidar el motivo por el cual recurrimos a ella. Del mismo modo, aunque todo tiene sus antecedentes y sus mediadores —que podemos seguir hacia la sima de los siglos sin que encontremos nunca un punto de reposo—, es lícito hablar de ciertas épocas de transformaciones fundamentales, cuando las corrientes subterráneas que ya existían brotan del suelo y comienzan a nacer a ojos vista cosas nuevas, mientras que la propia faz de la Tierra cambia completamente de aspecto. En la segunda mitad del siglo XVII, según este concepto, podemos decir que las transformaciones sufridas por la historia de la ciencia, e incluso por la civilización y la sociedad en conjunto, son innegables, y durante los últimos años del siglo se van volviendo más radicales y más numerosas. Podemos decir que, en la práctica, nuestra civilización moderna está comenzando a surgir del subsuelo para ocupar su lugar bajo el sol.

Los cambios no se habían limitado en modo alguno a Francia, aunque cuanto hasta ahora hemos estudiado de este periodo nos haya obligado a fijar la atención en ciertos aspectos de la transición en el caso de ese país en particular. No obstante, el movimiento queda localizado y tiene que ver con la actividad desbordante que estaba desarrollándose, digamos a partir de 1660, no solo en Inglaterra, Francia y Holanda, sino también entre esos tres países, corriendo la lanzadera de un lado a otro para tejer lo que habría de

transformarse en una nueva clase de cultura occidental. Podemos decir que, en ese momento, la vanguardia de la civilización abandonó de modo claro y perceptible los países mediterráneos, en los que se había asentado durante miles de años, para trasladarse a regiones más septentrionales. Ya la Universidad de París había ejercido su influjo a finales de la Edad Media, y se produjo un desplazamiento todavía más marcado después del Renacimiento, cuando Alemania se rebeló contra Roma y los países nórdicos comenzaron a recorrer nuevos caminos propios con la Reforma. El Mediterráneo de aquellos tiempos se había transformado casi en un lago islámico, y los descubrimientos geográficos habían estado desplazando el predominio comercial hacia las costas atlánticas durante muchas generaciones. Entonces, por unos instantes, la historia de la civilización se centró en el canal de la Mancha, donde todo estaba tejiéndose según un nuevo diseño, y a partir de aquel momento el Mediterráneo sería visto por el hombre moderno como una región retrasada en el plano cultural. No solo se trataba de que Inglaterra y Holanda ocupaban posiciones de vanguardia, sino de que la parte de Francia que más activamente propagaba el nuevo orden era la hugonota o exhugonota, especialmente los hugonotes exilados, los nómadas, que desempeñaban un papel muy importante en el cambio intelectual que estaba ocurriendo. A partir de 1685, tras la revocación del Edicto de Nantes, la alianza entre los protestantes ingleses y franceses se hizo más íntima. Los hugonotes huyeron a Inglaterra o se transformaron en intermediarios que publicaban en Holanda periódicos escritos en francés, en los que se comunicaban ideas inglesas. Conforme avanzaba el siglo XVIII, el equilibrio europeo se iba desplazando cada vez más acusadamente hacia el norte gracias al surgimiento de las potencias no católicas de Rusia y Prusia. Hasta en el Nuevo Mundo fue la parte septentrional del continente la que más destacó, y muy pronto se decidió que dicha zona tenía que ser británica, no francesa, protestante o católica romana; un aliado, por tanto, de la nueva forma de civilización. Hasta el mismo centro de gravedad del globo parecía estar cambiando, y por algún tiempo encontraron su «lugar bajo el sol» nuevas extensiones de su superficie.

Este nuevo capítulo de la historia de la civilización comenzó en realidad cuando en 1660, tras un largo periodo de trastornos internos y guerras

civiles, se alcanzó cierta estabilidad política no solamente en Francia, sino en todo el continente en líneas generales, donde la institución monárquica, que había sido atacada en todas partes, consiguió reafirmarse y restablecer el orden público. De hecho, lo que ya hemos indicado en el caso de Francia era todavía más cierto en la Inglaterra y la Holanda del siglo XVII; vemos que el poder intelectual pasa a manos de la clase media, a pesar de las objeciones que se puedan hacer al término. Y al igual que el Renacimiento estaba ligado muy en particular a los estados ciudad (o virtuales estados ciudad) en Italia, el sur de Alemania y los Países Bajos, donde el comercio y la evolución económica habían propiciado una vida cívica exuberante, en el último cuarto del siglo XVII los cambios intelectuales se centraron en el canal de la Mancha, donde el comercio había experimentado un notable auge y, al parecer, se había alcanzado una prosperidad muy grande. El Estado ciudad había desaparecido de la historia en la primera mitad del siglo XVI, pero en la plataforma más ancha del Estado nación, el futuro seguía perteneciendo a lo que denominamos «clase media».

Si solo reparamos en los cambios intelectuales del periodo que estamos estudiando, los encontraremos descritos en la obra de un historiador titulada *La crise de la conscience européenne*, un título que ya de por sí nos indica la importancia de la transición que se estaba llevando a cabo. Lo que estaba en la balanza era una secularización, profunda y simultánea, del pensamiento en todos los ámbitos posibles de las ideas tras el carácter religioso extraordinariamente marcado de una gran parte del pensamiento del siglo XVII. John Locke nos da una transposición en términos seculares de lo que había sido una tradición presbiteriana en el pensamiento político, y al hacerlo no es un caso anormal ni un profeta solitario, sino que se apoya en el punto crucial de lo que era entonces una transición general. La secularización llegó en el momento preciso para combinarse con la labor de la Revolución científica a finales del siglo XVII, sin embargo, parece que en sí no fue solo el resultado de los descubrimientos científicos; por motivos independientes se estaba produciendo cierto declive de la cristiandad. En un ámbito completamente distinto, se siente uno inclinado a decir que en la historia del cristianismo occidental entre los siglos XI y XX, este periodo destaca como uno de los de más bajo nivel. Si nos fijamos en el tono moral

predominante durante el reinado de Carlos II, tras la etapa de predominio puritano, y lo comparamos con el caso extraordinariamente paralelo de la Regencia en Francia, después de la religiosidad de los últimos años del reinado de Luis XIV, es difícil resistirse a la sensación de que en ambos casos la relajación general de la moral y de la religión siguió con carácter inmediato a periodos de tensión demasiado elevada; aquello no era la consecuencia directa de la Revolución científica exclusivamente. En ambos casos, quizá dependiese de la dialéctica de la propia historia que, durante los largos conflictos entre católicos y protestantes, el Estado secular se independizase y se adjudicase una posición de árbitro entre los que en aquel momento no parecían ser nada más que dos partidos políticos dentro del Estado. Toda la historia del Renacimiento demuestra que, dentro de los límites del Estado ciudad, la rápida evolución de una civilización urbana puede conducir muy fácilmente a un proceso de secularización; los sacerdotes y la aristocracia pierden el poder que podían permitirse ejercer en un mundo agrario más conservador. Algo similar ha ocurrido una y otra vez en el caso de los estados nación, en los que no solo las ciudades han adquirido un carácter realmente urbano —como sucede, aunque tardíamente, en el caso de Inglaterra, por ejemplo—, sino que algo así como el predominio social ha pasado a la ciudad, y la literatura misma comienza a adquirir otro carácter.

Hay otro motivo que hace que no sea exacto atribuir tan solo a los descubrimientos científicos todas las culpas del cambio de la manera de pensar que ocurrieron en aquellos tiempos. Justamente por entonces, los libros de viajes comenzaban a ejercer una marcada influencia sobre los puntos de vista del hombre, como resultado algo diferido de los descubrimientos geográficos y de los conocimientos, cada vez más extensos, que se tenían de tierras lejanas. Europa occidental estaba comenzando a familiarizarse con la existencia, en multitud de tierras lejanas, de gentes que nunca habían oído hablar de la Grecia clásica ni del cristianismo. Cuando aquella idea comenzó a volverse familiar, el punto de vista europeo pasó a ser considerado algo no universal, quizá ni siquiera necesariamente central, sino más bien un asunto de índole meramente local. Fue posible considerarlo una tradición de carácter simplemente regional en

una porción relativamente pequeña del planeta. De esta manera, cada uno pudo comenzar a considerar su propia cultura, y hasta su propia religión, de un modo mucho más relativo. Fue posible juzgar el credo local como el receptáculo de una verdad esencial; pero una verdad que quedaba cubierta en cada caso por toda una serie de mitos, perversiones y aditamentos de carácter local. Lo que era común a todos era la verdad universal e irreductible —los principios de la religión natural—, y en los relatos franceses de viajes encontramos ya los ingredientes esenciales del deísmo aun antes de que John Locke hubiera mostrado el camino. Además, se podía percibir que en Europa occidental el cristianismo se apoyaba en la misma verdad universal, pero los principios habían sido recubiertos (por ejemplo, en el catolicismo romano) de aditamentos locales, revelaciones y milagros, de los que ahora era preciso liberarlos. Los resultados de todo esto estaban en armonía con los efectos de la nueva ciencia y apoyaban el tipo de deísmo que el sistema de Newton parecía favorecer, uno que requería un Dios solamente en los comienzos de los tiempos, una divinidad que pusiera en movimiento la maquinaria.

A partir de este periodo también se desarrolló notablemente, y con considerable rapidez, la tendencia a un protestantismo de nuevo cuño, el de carácter más liberal en el que todos pensamos cuando debatimos sobre este tema. Era un protestantismo unido al movimiento racionalista, y tan distinto del original que hoy en día es preciso un esfuerzo de imaginación histórica para descubrir cuál era la idea real de Martín Lutero. Algunas de las líneas evolutivas más destacadas de esta tendencia racionalista no se vieron frenadas en Inglaterra más que por la figura y la tenaz influencia de John Wesley, quien, no obstante, encarna muchas de las características de la Era de la Razón. Por otra parte, hay que señalar que si los libros de viajes afectaron a la actitud de los europeos occidentales respecto a sus propias tradiciones, la actitud misma que aquellas gentes adoptaron (el tipo de relativismo que alcanzaron) se debió en parte a ciertos puntos de vista científicos que se iban transformando cada vez más en la actitud mental de todo el mundo. Del mismo modo, habida cuenta de que en la década de 1660 un escritor como Joseph Glanvill pudo escribir un libro sobre *The Vanity of Dogmatising*, en el que insistía en la importancia del escepticismo

en la ciencia y en el sistema de la duda metódica, no es posible negar que su actitud crítica fuese un efecto del movimiento científico. En general, no debemos cerrar los ojos a los efectos extremadamente perturbadores que tuvo el derrocamiento general de la autoridad, tanto de la Edad Media como de la Antigüedad, que a su vez había sido motivado por la Revolución científica. Así pues, podemos decir dos cosas: o bien que toda una serie de factores convergentes estaban moviendo al mundo occidental en una dirección determinada, o bien que estaba soplando un viento huracanado, capaz de llevarse por delante cualquier cosa que estuviera sucediendo; un vendaval tan poderoso que arrastraba con sus ráfagas a todo movimiento existente con el fin de fomentar la corriente favorable a la secularización.

No obstante, los cambios que ocurrieron en aquella época de la historia del pensamiento no fueron más excepcionales que los acontecidos en la vida y en la sociedad. Durante mucho tiempo hemos sentido la tendencia a hacer retroceder los orígenes, tanto de la Revolución industrial como de la llamada «Revolución agraria» del siglo XVIII; y aunque, como ya he dicho, podemos recular tanto como queramos al buscar los orígenes de algo, en realidad los cambios no comienzan a ser apreciables hasta finales del siglo XVII. La pasión por extender el método científico a todos los ámbitos del pensamiento quedaba cuando menos igualada por la de hacer servir a la ciencia en la causa de la industria y de la agricultura, e iba acompañada de una especie de fervor tecnológico. Francis Bacon siempre había recalcado las enormes posibilidades utilitarias que podía tener la ciencia, y las ventajas, superiores a todo lo imaginable, que nos acarrearía el control de la naturaleza; ya es difícil, incluso en la historia de los primeros tiempos de la Royal Society, separar el interés por la verdad científica pura del interés y la curiosidad respecto a las invenciones útiles, por un lado, y de la inclinación a perderse en fábulas y curiosidades, por otro. Se puede discutir sobre la cuestión de hasta qué punto las miras del interés científico se vieron afectadas por las necesidades técnicas o por los problemas planteados por la construcción de navíos y otras industrias, pero la Royal Society siguió a Galileo al ocuparse, por ejemplo, del importante problema de hallar un modo de determinar la posición de un barco en alta mar. Quienes traten de encontrar los orígenes de la invención de la máquina de vapor verán que su

historia comienza realmente a destacar con rasgos más vivos y brillantes durante este periodo. Aparte de estos casos individuales, no cabe duda de que las posibilidades mismas de experimentación científica quedaban limitadas hasta que la sociedad, en líneas generales, hubiera elaborado ciertas formas de producción y técnica. De hecho, las revoluciones científica, industrial y agraria forman un sistema tal de cambios tan complejos y dependientes unos de otros que, a menos que hagamos un estudio microscópico, no tenemos más remedio que reunirlos todos como aspectos de un movimiento más general que a finales del siglo XVII estaba ya produciendo profundos cambios en la faz de la Tierra. No corremos peligro al reunir todas estas cosas y formar con ellas un grueso legajo de modificaciones complejas, sino al creer que sabemos qué hay que hacer para desenredarlas; lo que vemos no es más que el conjunto de una complicadísima red de transformaciones, y es difícil decir que una cualquiera de ellas fuera el resultado directo de la propia Revolución científica.

Dentro de todo el movimiento general encaja ese crecimiento del comercio con ultramar que ya hemos observado en el caso de Francia, y una vez más encontramos un resultado interesante, aunque también ahora postergado, de los descubrimientos geográficos de un periodo muy anterior, lo cual nos recuerda que el Nuevo Mundo representa uno de los cambios permanentes en las circunstancias que dieron lugar a la Edad Moderna, una de las grandes diferencias entre la Edad Media y los tiempos modernos, y cuyos resultados iban llegando poco a poco y se reproducían en periodos posteriores. En la Inglaterra de Carlos II comenzamos a darnos cuenta de que somos un imperio; la Junta de Comercio y Plantaciones llega a ocupar un puesto clave dentro del Gobierno; a partir de 1660, la Compañía de las Indias Orientales comienza a cosechar sus colosales beneficios. Se empiezan a oír muchas menos quejas sobre la cifra excesiva de clérigos; en adelante, lo que se comienzan a oír son quejas sobre el número creciente de funcionarios de aduanas, de hacienda, del servicio colonial, encomenderos, etcétera, dados en su mayoría a la venalidad de asumir funciones de gobierno. Estos son los tiempos en que, como hace ya mucho que han observado los historiadores, las guerras comerciales —sobre todo entre

holandeses, franceses e ingleses— reemplazan a la larga serie de guerras religiosas. Al mismo tiempo debemos dejar constancia de la creación del Banco de Inglaterra y de la deuda nacional, un nuevo mundo de las finanzas que altera no solo el gobierno, sino también la propia estructura del cuerpo político. Ya hemos visto que en Francia e Inglaterra había indicios de la fiebre especulativa que culminó en los proyectos de John Law, por una parte, y en la burbuja de los Mares del Sur,[1] por otra, mientras que en Holanda se habían producido cambios financieros profundos en fecha todavía anterior.

El aspecto general del mundo y de las actividades de los hombres habían variado sorprendentemente poco durante dos mil años —su perfil era siempre el mismo—; tan poco que los hombres no tenían conciencia del progreso ni del devenir de la historia, aparte de hechos como una ciudad o una nación que adquiría algún predominio gracias al esfuerzo o a la fortuna, mientras otras caían. Su visión de la historia era esencialmente estática, porque el mundo había sido estático durante todo el tiempo que ellos podían abarcar; no era sino una sucesión de vidas cuyos papeles representaban las nuevas generaciones sobre un escenario que en sus puntos esenciales era siempre el mismo. Sin embargo, ahora el cambio se producía tan rápidamente que se apreciaba a ojos vista, y la faz de la Tierra y las actividades humanas iban a cambiar más en el curso de un siglo de lo que lo habían hecho antes en mil años. Más tarde, en relación con la idea del progreso, veremos que en general, y a todos los efectos prácticos, fue durante este periodo cuando el concepto que el hombre tenía del discurrir de las cosas fue también arrojado al gran crisol. Y el cambio intelectual fue acelerado también por la publicación de toda una serie de periódicos en Francia, Inglaterra y Holanda.

Una característica muy curiosa de la vida inglesa del siglo XVII nos permite ver claramente la creciente modernización del mundo y pone de relieve no solo el cambio social, sino también ciertos matices nuevos que comienzan a hacerse perceptibles en la mentalidad de la gente. Encontramos las primicias de esta novedad en los debates que se producían durante el reinado de Jacobo I, cuando vemos que en el Parlamento se ataca a ciertas personas denominadas «proyectistas», gente que hoy llamaríamos

promotores de empresa, y cuya preocupación constante era encontrar nuevos medios de ganar dinero. Después de la Restauración surgieron en gran número, llegando a constituir un verdadero fenómeno social durante el reinado de Carlos III, y alcanzaron su apogeo en el periodo de la burbuja de los Mares del Sur, cuando se fundaban compañías para ejecutar toda clase de proyectos de lo más fantástico, incluso para desarrollar un método de conseguir el movimiento perpetuo. Poco antes de terminar el siglo XVII, Daniel Defoe, que destaca por su mente extraordinariamente moderna, publicó la obra *Essay on Projects*, en la que hacía comentarios sobre el fenómeno y satirizaba a los proyectistas, aunque acababa ofreciendo muchas ideas de cosecha propia para hacerse rico rápidamente. Es curioso observar que los proyectistas constituyen otro de los factores que ayudaron a que echase raíces el movimiento *philosophe*, porque, aunque algunos tenían proyectos para enriquecerse pronto y sin esfuerzo —por ejemplo, Defoe ideó un plan para mejorar el comercio resolviendo el problema de los piratas de Berbería—, otros se fijaban horizontes más amplios: programas, que supondrían una mejora general, para resolver el problema de los pobres, para la educación de la mujer o para reducir la deuda nacional. Su famoso sistema socialista lo tomó Robert Owen, según nos dice él mismo, de John Bellairs, quien lo esbozó en 1696 con el título de «un proyecto según el cual los ricos seguirían siéndolo, los pobres podrían independizarse y los niños recibirían una buena educación». Bellairs tenía otras ideas que ofrecer como mejoras de carácter general (por ejemplo, en relación con la reforma de prisiones). Aquellas cosas pasaban fácilmente a constituir nuevas ideas sobre las formas de gobierno, y se ofrecen por entonces esquemas mecánicos de lo más curioso, preludio de las constituciones modernas y los proyectos utópicos. Gracias a ellos comprendemos que el proceso histórico es muy complejo y que, mientras se estaba desarrollando la Revolución científica, se estaban produciendo otros cambios en la sociedad; que había toda una serie de factores distintos dispuestos a combinarse entre sí para dar lugar al mundo moderno.

Siempre les es fácil a las generaciones posteriores pensar que sus antecesores eran necios, y podría sorprendernos saber que, incluso después de la Primera Guerra Mundial, más de un historiador excelente escribió la

historia del siglo XIX sin apenas mencionar siquiera la importancia del socialismo ni hablar de Karl Marx (nos equivocaríamos al juzgar este hecho si no lo considerásemos uno de los errores en que cualquiera de nosotros puede incurrir indefectiblemente en un momento u otro). Hoy en día podemos observar el siglo XIX bajo una luz diferente porque tenemos más conocimientos de lo que aconteció a consecuencia de todo aquello, y no somos víctimas de una ilusión óptica, al contemplar dicha centuria a través de las lentes del siglo XX, cuando decimos que quien haya estudiado los últimos cien años se está olvidando de un factor decisivo si pasa por alto el surgimiento del socialismo. Un hombre de percepción aguda podría haberse dado cuenta de la importancia del fenómeno mucho antes de que acabara el siglo. Pero nosotros, que hemos visto las consecuencias que ha tenido en nuestros tiempos, no requerimos ninguna destreza especial para percatarnos de la relevancia que supone toda esta cuestión.

Sucede algo similar a esto cuando nosotros, los que vivimos en 1957, miramos hacia atrás para examinar la Revolución científica: nos encontramos en una posición que nos permite ver las consecuencias que tuvo para la época actual con mucha mayor claridad que los hombres de hace cincuenta y hasta solo veinte años antes. Y, una vez más, no somos nosotros los que sufrimos la ilusión óptica —la de tratar de encajar el pasado en el marco actual—, porque lo que ha sido revelado en la década de 1950 no hace sino destacar más la importancia fundamental del cambio que se produjo en el mundo trescientos años antes, en los tiempos de la Revolución científica. Nos damos perfecta cuenta de por qué nuestros predecesores no alcanzaban a captar el significado del siglo XVII en toda su importancia fundamental, de por qué hablaban mucho más del Renacimiento o de la Ilustración del siglo XVIII, por ejemplo; y es que en este caso, como en muchos otros, ahora estamos en condiciones de discernir las superposiciones sorprendentes y las soluciones de continuidad que con frecuencia ocultan la verdadera dirección en la que se mueven las cosas. Nuestras raíces grecorromanas y nuestra herencia cristiana son tan profundas y están tan presentes en todo nuestro modo de pensar que han sido necesarios siglos de empellones y sacudidas, y hasta casi un conflicto entre las civilizaciones de nuestro entorno, para que nos diéramos cuenta de

que nuestra mente transita con nuevos derroteros, sin centrarse ya en las raíces arcaicas. En cierto momento, los efectos de la Revolución científica y los cambios contemporáneos que trajo consigo quedaron enmascarados por la persistencia de nuestras tradiciones y nuestra educación clásicas, que tan decisivamente marcaban el carácter de Francia e Inglaterra en el siglo XVIII, por ejemplo. En otro momento, estos mismos efectos desaparecieron bajo la fe religiosa popular que tanto moldeó el carácter de este país hasta el siglo XIX. La misma fuerza de la convicción de que nuestra civilización era grecorromana, y el modo en que permitimos a los historiadores del arte y a los filólogos convencernos de que esto que llamamos el «mundo moderno» es un producto del Renacimiento —de hecho, la falta de elasticidad de nuestros conceptos históricos—, ayudaron a encubrir la naturaleza radical de los cambios que habían ocurrido y las enormes posibilidades que encerraba la semilla sembrada en el siglo XVII. En efecto, aquel siglo no se limitó a aportar un factor nuevo a la historia, como solemos dar por sentado; un factor que, por decirlo así, se sumó al resto de los existentes. Este nuevo factor comenzó de inmediato a apartar de su camino a todos los demás, a desplazarlos de su posición central preponderante. Enseguida trató de hacerse con el control de los demás, según los apóstoles del nuevo movimiento habían declarado que era su intención. El resultado fue la aparición de una civilización occidental de nuevo cuño que, al ser trasladada a Japón, ha actuado allí igual que aquí, disolviendo las tradiciones antiguas y sin tener ojos más que para dirigirlos hacia un futuro de mundos felices.[2] Era una civilización que podía soltarse de la mano de la herencia grecorromana en general, e incluso de la del cristianismo, casi demasiado confiada en su poder de existir al margen de todo. Ahora sabemos que lo que estaba surgiendo en el siglo XVII era una civilización interesante y llena de estímulos quizá, pero tan extraña como Nínive y Babilonia. Por eso, desde los comienzos del cristianismo, no hay ningún otro hito en la historia que pueda ser comparado en importancia con este.

11
EL RETRASO DE LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA EN LA QUÍMICA

Ha solido producir sorpresa que la química moderna no comenzase a ocupar un lugar relevante hasta una fecha tan tardía en la historia del progreso científico, y ha habido numerosas controversias entre los historiadores al tratar los motivos de que así fuera. Los laboratorios y las destilerías, la disolución o la combinación de sustancias y el estudio de la acción de los ácidos o del fuego eran cosas que, ya desde hacía mucho tiempo, le eran familiares a todo el mundo. Hasta el siglo XVI se habían producido ya adelantos notables respecto de todo lo que se había conseguido en el mundo de la Antigüedad en el ámbito de lo que podríamos llamar «tecnología química»: la fundición y el refinado de metales, la fabricación y elaboración de vidrio, porcelana y tintes; la invención y el perfeccionamiento de cosas como explosivos, materiales para artistas y medicamentos. Parece como si la experimentación e incluso los progresos de la técnica no fueran suficientes por sí solos para establecer la base sobre la que se pueda construir lo que llamamos «ciencia moderna». Los resultados obtenidos por ellos tienen que poder ser referidos a una estructura intelectual adecuada que, por una parte, abarque todos los datos observados, mientras que, por otra, ayude en todo momento a decidir qué dirección debe seguir la investigación. La alquimia fracasó rotundamente al tratar de establecer la estructura del pensamiento científico y quizá, incluso en el campo experimental, no hiciese más que tomar ideas prestadas en vez de crear nuevos campos de visión, por todo lo cual su contribución al desarrollo de la ciencia química fue tal vez menos importante de lo que hayamos pensado en algún momento. A partir de comienzos del siglo XVI los precursores más genuinos fueron los «yatroquímicos», que siguieron a Paracelso al insistir en la importancia que tenían para el médico los medicamentos de origen

químico. Y hasta finales del siglo XVII la química siguió asociada de modo especial a la práctica y la enseñanza de la medicina.

Robert Boyle se había propuesto conseguir aunar las labores del químico práctico y del filósofo naturalista, y a partir de aquella época la historia comienza, cuando menos, a resultar más comprensible para nosotros; apreciamos tendencias claras en direcciones puramente científicas que encierran cada vez menos de lo que no parece sino capricho y mistificación. Boyle tenía mucha fama, las ediciones latinas de sus obras eran muy numerosas y algunos aspectos de sus investigaciones ejercieron una influencia apreciable sobre el continente europeo. Los ingleses de su tiempo comenzaban a sentirse particularmente atraídos por el tipo de problemas que tanta importancia iban a alcanzar en el siglo siguiente. No obstante, ya hemos visto que la ferviente admiración de Boyle por la «filosofía mecánica» tuvo posiblemente consecuencias nefastas para su obra en el punto que él consideraba más decisivo. Al mismo tiempo, su sistema baconiano —su pasión por describir los experimentos independientemente de su explicación o de su síntesis— quizá contribuyera, aunque en sentido negativo, a limitar su influencia. Joseph Freind, profesor de química de la Universidad de Oxford, escribió en 1712:

> La química ha mostrado progresos muy laudables en la experimentación, pero tenemos pleno derecho a quejarnos de que se haya progresado tan poco en su explicación […]. Nadie ha arrojado más luz sobre este arte que el señor Boyle […], quien, sin embargo, no ha hecho tanto por poner nuevos cimientos a la química como por derribar la antigua.

Cuando estudiamos la historia de la ciencia es conveniente dirigir nuestra atención a la obstrucción intelectual que, en un momento dado, pone coto al progreso del pensamiento; barrera que en aquellos momentos era necesario que superase la mente. Como ya hemos visto, en el campo de la mecánica, en el momento crítico se había tratado del concepto del movimiento; en la astronomía, de la rotación de la Tierra, y en la fisiología, del movimiento de la sangre y de la acción correspondiente del corazón. En la química, una vez más, parece que las dificultades de aquel periodo giraban en torno a cuestiones primordiales que hoy nos resultan del todo familiares y corrientes, aspectos que no presentan la menor dificultad para un estudiante

joven del siglo XX, de modo que no es fácil darnos cuenta de por qué nuestros antecesores fueron al parecer tan extremadamente obtusos. En primer lugar, era necesario que fueran capaces de identificar los elementos químicos, pero los análisis más simples quizá fueran los más difíciles de todos. Durante miles de años, el aire, el agua y el fuego habían sido objeto de un mito similar en cierto modo al de la sustancia etérea especial de la que, según las creencias, estaban compuestos los cuerpos celestes y las esferas que los transportaban. De todo cuanto había en el mundo, el aire y el agua parecían ser las dos cosas que con mayor seguridad constituían elementos irreductibles; a no ser que, como había sugerido Van Helmont, no todo lo que había en el mundo pudiera ser resuelto en agua. Hasta el fuego parecía ser otro elemento, escondido en el interior de muchas sustancias, pero que surgía durante el acto de la combustión, haciéndose visible en forma de llama. Bacon y algunos de sus sucesores del siglo XVII habían conjeturado que el calor podría ser fruto de una forma de movimiento de las partículas microscópicas de la materia. Sin embargo, entremezclada con muchas otras suposiciones similares, encontramos también la opinión de que se trataba de una forma de materia, y esta fue la opinión que perduró hasta el siglo XVIII. Unos hombres que habían logrado notables adelantos en metalurgia, y que habían adquirido gran cantidad de conocimientos sobre las reacciones químicas complejas, no eran todavía capaces de hacerse ideas concretas sobre estos conceptos aparentemente tan sencillos. Hoy nos parece que la química no habría podido establecerse sobre una base sólida hasta que se encontrase una explicación que permitiese comprender el aire y el agua, y para que esto fuera posible parece que hubiera sido necesario llegar a ideas más claras y exactas sobre la existencia de «gases» y sobre el proceso de la combustión. Todo el proceso dependía de poder reconocer y pesar los gases, pero a principios del siglo XVIII los hombres de ciencia no se percataban aún de las diferencias que había entre gases distintos, ni existían instrumentos que permitiesen recoger muestras de gas, ni existía la convicción de que las mediciones del peso podrían desempeñar un papel fundamental entre todos los datos necesarios a la química.

A partir de los tiempos de Boyle y Hooke, una gran parte de la actividad científica comenzaba a concentrarse en los procesos afines de la

combustión, la calcinación y la respiración. También el aire había sido motivo de muchos de los estudios, y estas dos ramas de la investigación estaban obviamente relacionadas. Anteriormente, en el mismo siglo, Van Helmont había examinado lo que en aquellos tiempos se consideraban «humos», pero aunque descubrió y describió ciertas cosas que nosotros llamaríamos «gases», los consideró simples impurezas y exhalaciones —una materia térrea arrastrada por el aire—, y para él existía tan solo un «gas», que de por sí no era nada más que una forma que adoptaba el agua, ya que esta era la base de todo lo material. Los contemporáneos de Boyle habían estado muy cerca de descubrir diversos gases y consiguieron dar con algo que era sin duda alguna el oxígeno, si bien ellos hablaban de partículas nitroaéreas, con las que relacionaban no solo la pólvora, sino también los terremotos, los rayos e incluso la congelación, de modo que nos encontramos ante algo que casi tenía un significado cósmico. No se dieron cuenta de la existencia de gases diversos ni tampoco de que el aire podía ser una mezcla de gases distintos, por todo lo cual sería anacrónico considerarlos los descubridores del oxígeno y del nitrógeno. El problema del aire no sería resuelto más que gracias a una investigación más sistemática y a una observación más perspicaz de los fenómenos de la combustión. Respecto a este punto, la teoría del flogisto constituye un paso de gran importancia en la historia de la química.

Esta teoría, que en el siglo XVIII iba a adquirir tanta popularidad, constituía la característica esencial de una tradición cuyas raíces se remontaban al mundo de la Antigüedad, a saber: la suposición de que cuando algo arde, una parte de su sustancia queda liberada, luchando por escapar en el temblor de la llama y dando lugar a una descomposición, de modo que el cuerpo inicial quedaba reducido a ingredientes más elementales. Toda la teoría se basaba en una de esas conclusiones fundamentales de las observaciones del sentido común —como la teoría aristotélica del movimiento— que son capaces de entorpecer el desarrollo de las ideas por los caminos correctos y detener el progreso científico durante miles de años. Quizá la teoría representase un adelanto en los tiempos en que fue formulada, pero en épocas posteriores no fue posible rectificarla, al parecer, más que retornando una vez más a los comienzos y

volviendo a analizar todo el problema. A tenor del sistema aristotélico, se suponía que lo que sucedía durante la combustión era que se liberaba el «elemento fuego». Durante la mayor parte del siglo XVII se creyó que se trataba de un «elemento sulfuroso» —no exactamente azufre tal y como lo conocemos, sino una forma de azufre mística o idealizada— y que desde el punto de vista material había una clase distinta de azufre en cada uno de los diferentes cuerpos en los que podía aparecer. Un químico alemán contemporáneo de Boyle, J. J. Becher, dijo en 1669 que se trataba de *terra pinguis*, una tierra de tipo oleaginoso, y a principios del siglo XVIII otro químico alemán, G. E. Stahl, adoptó este punto de vista —que fue elaborando hasta 1731— y dio a la *terra pinguis* el nuevo nombre de «flogisto», que consideraba una sustancia física y real (sólida y grasienta, aunque fuese aparentemente imposible obtenerla aislada). Se desprendía de los cuerpos durante el proceso de combustión, o de los metales durante el de calcinación, y surgía en forma de llamas para combinarse con el aire o quizá se depositaba en parte, de forma sumamente pura, como hollín. Si se calentaba la cal —el residuo de un metal calcinado— junto con carbón, la sustancia recuperaba el flogisto que había perdido y se volvía a transformar en metal puro. Por tanto, se creía que el carbón contenía una gran cantidad de flogisto, mientras que otras sustancias como, por ejemplo, el cobre contenían muy poco. La teoría del flogisto no fue aceptada enseguida en todas partes; un hombre como el famoso Boerhaave básicamente la ignoró, y puede que otros que trabajaban según sistemas similares apenas hubieran sido influidos por ella. Al parecer, los franceses se fueron pasando todos a la nueva teoría a partir de 1730, pero su verdadera aceptación en términos generales no se produjo hasta mediados del siglo; fue entonces cuando, según parece, la química en general la aceptó como doctrina ortodoxa. Se ha observado que no comienza a aparecer en la bibliografía química hasta unos veinte años más tarde, y que cuando mayor revuelo produjo en el mundo fue precisamente en la época en que más discutida era.

Desde hacía ya mucho tiempo se sabía —y también lo sabía Stahl, el autor de la teoría del flogisto— que cuando algo ardía o cuando se calcinaba un metal, el residuo que quedaba experimentaba un aumento de peso. Los árabes probablemente ya lo sabían, y algunos hombres de ciencia

del siglo XVI no lo ignoraban; el hecho se hizo público ante la Royal Society de Londres después de 1660. En el siglo XVII se había expuesto, incluso más de una vez, la idea de que las sustancias extraían alguna cosa del aire durante la combustión, y que a este proceso de combinación se debía que los residuos mostrasen el aumento de peso que se observaba. La teoría del flogisto —la idea de que el cuerpo perdía algo durante la combustión— es una prueba evidente y notable de que en aquel tiempo los resultados de la medición de las dimensiones y del peso no eran factores decisivos para la formulación de una doctrina química. Por tanto, al igual que la teoría aristotélica del movimiento, la del flogisto respondía a ciertas apariencias *prima facie*, pero significaba casi una inversión de lo que realmente sucede, o sea, un nuevo caso de coger el bastón por el extremo opuesto al de la empuñadura. Es notable hasta qué extremos se deja llevar el hombre en el estudio de la ciencia, incluso cuando una hipótesis invierte todos los hechos; aun así, siempre llega un momento —como en el caso de Aristóteles al llegar al problema de los proyectiles— en que no encontramos ya escapatoria ante la anomalía, y entonces no queda más remedio que comenzar a torturar a la teoría, darle vueltas y más vueltas, hasta que se consigue que quede conforme a los hechos reales observados. Esto mismo sucedió en el caso de la teoría del flogisto cuando los hombres de ciencia encontraron que era imposible eludir el hecho del aumento de peso que experimentaban los cuerpos al haber sufrido la combustión o la calcinación.

Alguien sugirió que el flogisto podría tener peso negativo, una virtud positiva de «levedad» por la cual los cuerpos aumentarían de peso al desprenderse de él. No obstante, esta hipótesis volvía prácticamente imposible la doctrina de que el flogisto fuese algo sólido, de modo que comprendemos por qué la antigua idea de la «levedad» no pudo ya convencer a las gentes del siglo XVIII. Pott, un químico alemán, propuso la idea de que al desprenderse el flogisto aumentaba la densidad de la sustancia que lo había contenido, y J. Ellicott formuló en 1780 la hipótesis de que su presencia en un cuerpo «debilitaba las fuerzas de repulsión entre sus partículas y el éter», con lo cual hacía «disminuir su gravitación mutua». La opinión más divulgada era al parecer la de que, mientras que la

combustión producía una pérdida de flogisto y de peso, también ocurría otro proceso secundario, y en cierto modo fortuito, que compensaba con creces la pérdida de peso. Es curioso descubrir que Boyle ejerció una influencia considerable cuando menos en uno de estos errores, ya que se había percatado del aumento de peso cuando las sustancias ardían y había tratado de explicarlo diciendo que, posiblemente, sucedía que las partículas de fuego se introducían en los diminutos poros de la materia quemada; creía que aquellas partículas poseían peso, pero eran capaces de atravesar las paredes de vidrio de un recipiente cerrado. No solo hubo muchos que opinaban lo mismo durante el siglo XVIII, sino que también es posible seguir creyendo en la teoría del flogisto y aceptar a la vez la idea de que durante la combustión se ganaba peso debido a que, de modo accidental, era absorbido «algo» del aire, y esto sucedía en grado suficiente para compensar cualquier pérdida de peso que se hubiera producido al escapar el flogisto. Las anomalías de la química del flogisto durante una gran parte del siglo XVIII pueden servirnos para ilustrar la insuficiente atención que se prestaba a la medición de los pesos cuando se trataba de establecer una teoría. No obstante, si no le hubiera servido de ayuda aquel proceso secundario que explicaba el aumento de peso, la teoría del flogisto no habría alcanzado nunca tanto vigor ni habría costado tanto rebatirla a finales del siglo.

Otra desventaja de la teoría del flogisto estribaba en que llevaba implícita la idea de que nada de lo que pudiera ser quemado o calcinado podía ser un elemento. La combustión era sinónimo de descomposición. Únicamente cuando se había eliminado el flogisto se podía esperar encontrar la materia en sus formas elementales. Si hoy entendemos por calcinación el acto de la combinación del oxígeno con un metal, en el siglo XVIII se entendía que se trataba de que un cuerpo compuesto, el metal, se descomponía y se desprendía de su flogisto. Si en el proceso inverso nosotros consideramos un óxido de plomo que se libera de su oxígeno para dar lugar de nuevo al metal elemental, ellos imaginaban que estaban añadiendo algo —devolviéndole el flogisto—, de forma que el plomo obtenido era en realidad un cuerpo compuesto, un producto de síntesis. Para los que trabajaban en el marco de un sistema de ideas como este, no iba a

ser tarea fácil resolver el problema de la naturaleza de los elementos químicos.

Los historiadores modernos han demostrado cierta tendencia a justificar la teoría del flogisto porque, al parecer, parten de la opinión de que el investigador debe ser comprensivo y tratar de embellecer los hechos, y de que la bondad que les debemos a los seres humanos hay que extenderla también a los objetos inanimados. Se ha observado que los hombres que formularon la teoría cometieron el error que era frecuente en los tiempos antiguos: se daban cuenta de la existencia de ciertas propiedades y las transformaban mentalmente en una sustancia real y verdadera. Un autor ha dicho que la teoría del flogisto «fue la primera generalización importante en el campo de la química que relacionó entre sí, de un modo sencillo y comprensible, un gran número de acciones de carácter químico y ciertas relaciones que existían entre un gran número de sustancias muy variadas». No obstante, como el factor común y la base de estas relaciones era el flogisto, enteramente ficticio, es difícil imaginar qué es lo que pudiera haber sido facilitado. También se ha pretendido que no había una única teoría del flogisto, sino que esta teoría de la combustión se fue extendiendo gradualmente hasta dar lugar a un sistema químico y que lo que ahora tenemos delante es un periodo de química flogística. Y es cierto también que a partir de 1750 encontramos cada vez más datos que dan una historia congruente de la química, mientras que lo que hallamos antes era más bien una relación histórica de químicos —cada uno de ellos separado de los demás y rodeado de sus propias teorías—, de manera que, al ser aceptado universalmente el flogisto, ello les llevó a todos a encuadrarse dentro de un sistema intelectual único. Algunos han hecho la observación de que en el marco de la química del flogisto se llevaron a cabo numerosos experimentos, y no es probable que al investigador se le hubiera ocurrido realizar muchos de ellos si la teoría aceptada generalmente hubiera sido otra. No obstante, también en el marco de los sistemas intelectuales existentes antes de esto se habían efectuado experimentos importantes, y se podría afirmar —aunque estas especulaciones encierran siempre peligros— que el surgimiento de la química como ciencia ocurrió notablemente tarde, que la química de Boyle y de Hooke quizá no tomase la ruta más corta o

directa para llegar a Lavoisier, y que la aparición entorpecedora de la teoría del flogisto dificultó la transición antes que favorecerla. Aquella teoría era de carácter conservador, lo cual es muy significativo a pesar de que tal vez consiguiera hacer más manejables las teorías conservadoras, cuando menos durante cierto tiempo.

Se utilizó para cumplir toda una serie de fines. Como los cuerpos cambiaban de color al ser calentados más o menos, sirvió para explicar la policromía. Pero las burlas de Lavoisier nos servirán para demostrar que, pese a todo ello, no hizo más que crear constantes dificultades durante la generación en la que fue aceptada universalmente: en la década de 1780, el químico francés afirmó que el flogisto tenía que ser unas veces fuego puro y otras fuego combinado con un elemento térreo; en ocasiones pasaba a través de los poros de la vasija que lo contenía y en otras no era capaz de hacerlo; se utilizaba para explicar la causticidad y la no causticidad, la transparencia y la opacidad, el color y la falta de color. Además, las dos últimas décadas del siglo XVIII nos ofrecen una de las pruebas más espectaculares de la historia de que hombres capacitados que tenían ante sus mismos ojos la verdad desnuda y poseían todos los datos para llegar a la solución del problema —de hecho, los mismos que habían hecho todos los descubrimientos más fundamentales— se vieron incapacitados por la teoría del flogisto para darse cuenta de lo que implicaban los descubrimientos que habían hecho. Aunque es un hecho cierto en la historia del pensamiento que las ideas falsas y las verdades a medias sirven algunas veces de estímulo o incluso de vehículo hacia la verdad —llevando al investigador a realizar una generalización más sólida, más consistente, y desapareciendo de la historia una vez que han cumplido su cometido—, todavía no se puede decir sin ningún género de duda cuál de los famosos descubrimientos de Black, Cavendish, Priestley y Lavoisier habría sido más difícil de realizar si no hubiera existido la teoría del flogisto. Quizá sea posible decir que el constante paso del flogisto de un cuerpo a otro, o de un cuerpo al aire, y el retorno del flogisto al cuerpo, acostumbraban la mente del químico a las combinaciones múltiples, a los intercambios incesantes, volviéndola con ello más ágil, preparándola para la idea de elementos que se combinaban y recombinaban entre sí en el transcurso de una reacción química. Sin

embargo, no cabe duda de que si la química hizo grandes progresos a partir de 1750, ello se debió en primer lugar a causas mucho más tangibles y concretas, como son la invención de métodos para conservar muestras de gases y la demostración hecha por Joseph Black de lo que se podía conseguir con el empleo de la balanza, todo ello junto con las mejoras de tipo general en la construcción de aparatos, que en aquellos tiempos representaba un problema muy serio y con frecuencia sumamente caro.

Aunque al parecer durante toda la primera mitad del siglo XVIII hubo un persistente interés por la química y por los experimentos químicos, quizá no sea erróneo decir que no surgió ninguna figura genial capaz de desarrollar lo que habían alcanzado Boyle, Hooke y Mayou en decenios anteriores. En Alemania y Holanda, donde existía un notable interés por la aplicación de la ciencia a las artes industriales, se produjo un despertar general en el segundo cuarto de siglo, y los discípulos de Boerhaave, en Leiden, llevaron su influencia a las universidades de muchos países; uno de ellos, William Cullen, fue el maestro de Joseph Black. A mediados del siglo los químicos de Gran Bretaña se ocupaban intensamente de problemas farmacológicos e industriales y de otros que en realidad pertenecen más bien al campo de la física. Alguien ha dicho que la Revolución industrial inglesa dependió «tanto de los descubrimientos químicos como de los descubrimientos mecánicos», y el ácido sulfúrico desempeñó un papel de gran importancia en la historia. Escocia fue la cuna de una serie de importantes descubrimientos y tendencias nuevas; Joseph Black significó en Edimburgo algo parecido a lo que Boerhaave había sido para Leiden.

Cuando Scheele, el químico sueco, se lanzó al estudio del problema de la combustión, encontró que sería imposible llegar a conclusiones satisfactorias sin haberse ocupado antes de resolver el problema del aire, al que dedicó toda su atención entre los años 1768 y 1773. Hacía ya mucho tiempo que se sabía que los dos problemas estaban relacionados y que la combustión se correspondía de modo peculiar con la respiración, y hay datos que parecen indicar que ello ya se sabía en la Antigüedad. Ya hemos mencionado a algunos químicos —ciertos ingleses, por ejemplo— que durante el siglo XVII habían formulado teorías sobre este problema más avanzadas que la del flogisto. No obstante, en dicho siglo el problema se

había vuelto más difícil a causa de ciertas ideas respecto a las operaciones puramente mecánicas del aire o la acción de la atmósfera como simple receptáculo de los humos generados durante la combustión. Se sostenía que si una vela encendida se apagaba muy pronto al arder dentro de un recipiente cerrado, ello se debía a la creciente presión del aire cargado de humos. E incluso después de haber sido inventada la bomba de aire y haberse demostrado que la vela no ardía en el vacío, todavía se pudo recurrir a una teoría de orden puramente mecánico: era posible decir que era necesaria la presencia de la presión atmosférica para obligar al fuego a salir de su receptáculo ardiente en forma de llama, de modo que el enrarecimiento de la atmósfera le quitaría a la llama su impulso vital. En los tiempos de la teoría del flogisto todavía prevalecían ideas mecanicistas, porque la función del aire era básicamente absorber el flogisto que escapaba hasta que todo el aire quedase saturado, hasta que este hubiera absorbido todo el flogisto que fuese capaz de absorber, y entonces el fuego se apagaba, lo cual explicaba por qué lo hacía una vela en un recipiente cerrado.

A pesar de que las aguas del tiempo están turbias y coexistían entonces ideas que al parecer eran incompatibles, los químicos del periodo anterior a 1750 creían que el aire no era una mezcla, aunque se daban cuenta de que la atmósfera podía estar cargada en mayor o menor cantidad —y en unos sitios más que en otros— de efluvios extraños y repugnantes. Asimismo, hasta esa fecha no tenían siquiera una idea clara de la posibilidad de que existieran gases completamente distintos unos de otros. Las diferencias que en ocasiones observaban las solían atribuir a modificaciones de sustancias fundamentalmente iguales. De todos modos, la atmósfera era algo tan intangible y sutil que se resistían a creer que el aire, o cualquier parte de él, pudiera ser «fijado», como decían ellos (es decir, que pudiera combinarse con una sustancia sólida para dar lugar a compuestos estables). Parece que estaban más dispuestos a creer que las partículas de aire pudieran permanecer escondidas dentro de cuerpos extraños, en los poros diminutos que poseían los sólidos, y que así se podía explicar cualquier aumento de peso durante la combustión.

No obstante, en 1727 Stephen Hales demostró que los gases podían ser «fijados» y que este proceso ocurría constantemente en la vida animal y en la vegetal. Descubrió la manera de recoger y conservar muestras de gas en una campana neumática y examinó la cantidad producida por efectos químicos a partir de un peso determinado de sustancias. Llegó incluso a demostrar que los gases o «aires», como él los llamaba, que obtuvo y recogió a partir de varias sustancias eran distintos en cuanto a color, olor, solubilidad en el agua, inflamabilidad, etcétera, aunque por entonces no se les daba gran importancia a diferencias de este tipo. Hales, al igual que sus lectores, seguía convencido de que se trataba en realidad de una sola clase de aire que se presentaba según condiciones diferentes; como él decía, «infectada» o «mancillada» por humos y vapores extraños. Así pues, el descubrimiento de Joseph Black en 1754 constituyó un momento de gran importancia; demostró la existencia de un «aire» que, a diferencia del «aire vulgar», poseía afinidad con la cal viva, y lo estudió en diversas combinaciones, aunque no llegó a aislarlo y recoger muestras de él ni describió a fondo todas sus características. Lo llamó «aire fijado» —el término empleado por Hales— y demostró que no solo podía existir en estado libre, sino que también podía ser capturado por cuerpos sólidos; es más, podía ser combinado con una sustancia y ser transferido a otra para combinarse de nuevo con la segunda. Poco después se dio cuenta de que era diferente del «aire» que se producía al disolver un metal en ácidos y de que se parecía al aire vulgar que había sido mancillado por la combustión o la respiración. El método que Black empleó para llevar a cabo sus investigaciones acerca de lo que nosotros llamamos anhídrido carbónico fue tan importante como el descubrimiento mismo. Su trabajo destaca como un modelo de estudio profundo y exhaustivo de una reacción química, y reveló los resultados decisivos que se podían alcanzar haciendo uso de la balanza. Demostró que el aire vulgar puede tomar parte activa en los procesos químicos y que podía existir un aire distinto del vulgar. Al mismo tiempo, parece que ni siquiera él se daba cuenta plenamente de la existencia independiente de gases distintos. Parece como si creyera que su «aire fijado» no fuese nada más que una modificación del aire común causada por la acción de un principio inflamable, es decir, del flogisto.

En 1766 Henry Cavendish continuó estos estudios de lo que denominaba, según las palabras de Boyle, «aire facticio», lo cual, decía, significaba «cualquier clase de aire que está contenido en otros cuerpos en sentido inelástico y que se desprende de ellos por medio de artes». Entre otras cosas, disolvió mármol en ácido clorhídrico y obtuvo el «aire fijado» de Black; secó el gas y recurrió al ingenioso método de recogerlo en una campana cerrada con mercurio, ya que era soluble en el agua; completó la colección de datos que sobre él se poseían calculando su peso específico, su solubilidad en el agua, etcétera. También obtuvo hidrógeno disolviendo cinc, hierro o estaño en ácido clorhídrico y en aceite de vitriolo, y comprobó que no había diferencias entre los gases obtenidos por el empleo de ácidos distintos; también en este caso calculó el peso específico del gas. Por tanto, quedó demostrado que aquellos dos gases tenían una existencia estable y que se podían obtener con características que eran siempre las mismas; no eran resultado de una mezcla arbitraria de impurezas diversas con el aire. Y aunque ambos gases habían sido descubiertos mucho tiempo antes, en la mente de los hombres de ciencia no habían sido separados de otras cosas de naturaleza semejante, y no se hacía ninguna distinción entre el hidrógeno y otros gases inflamables, por citar un ejemplo. No obstante, incluso antes se tenía la vaga sensación de que, en último término, no existía en realidad más que una clase de aire, el común, y de que las diversas variedades se debían única y exclusivamente a la presencia o ausencia de flogisto. Cavendish se sentía inclinado a identificar su «aire inflamable» con el flogisto, aunque su idea podía dar lugar a objeciones, ya que se había supuesto que el flogisto no era el cuerpo combustible en sí, sino una sustancia que se desprendía de los cuerpos al arder; y si el hidrógeno era flogisto, ¿cómo podía este último desprenderse de sí mismo?

Joseph Priestley mejoró aún más el dispositivo para recoger muestras de gases y es posible que, al tratarse de un simple aficionado que no disponía de medios para dedicarse a trabajos de gran envergadura, se viera obligado a desplegar una inventiva todavía mayor en la construcción de los medios y aparatos que precisaba para el trabajo. Sin percatarse de lo que había hecho, obtuvo oxígeno en 1771, y ya mucho antes de su época se había sugerido la existencia de una parte especialmente pura del aire, o de un elemento

especialmente puro del aire, del que se sabía que constituía un factor muy importante para la respiración y la combustión. En agosto de 1774 Priestley aisló el oxígeno, pero en el primer momento creyó que se trataba de «aire modificado» o «aire nitroso flogisticado», lo que nosotros llamamos hoy óxido nitroso. Más adelante, después de nuevos ensayos, decidió por un tiempo que debía de tratarse de aire común, pero a mediados de marzo de 1775 se dio cuenta de que era cinco o seis veces más efectivo que la atmósfera corriente, así que lo llamó «aire deflogisticado». Unos años antes, el químico sueco Scheele había hecho el mismo descubrimiento; publicó sus resultados con fecha posterior a Priestley, pero demostró una mayor perspicacia que este al darse cuenta de que en el aire existían dos gases diferentes. Quienquiera que merezca el honor del hallazgo, el hecho de que fuera descubierto y aislado marcó un hito importante en la historia de la química.

Por aquella época, la situación comenzaba a volverse complicada y hasta caótica. Tiene que recordar el lector que existía un prejuicio muy arraigado por el que se consideraba que el aire era una sustancia simple y primordial, y otro prejuicio todavía más profundo por el que se consideraba al agua como un elemento irreductible. Por otra parte, la opinión se equilibraba al considerar a los metales como cuerpos compuestos, y si uno de estos, sometido a la acción de un ácido, liberaba hidrógeno, lo más natural era pensar que este se había desprendido del propio metal. Cuando más tarde se descubrió que si se hacía explotar una mezcla de hidrógeno y oxígeno se formaba agua, la explicación más sencilla consistía en decir que el agua era una de las sustancias que intervenían en la composición del oxígeno o de ambos gases, y que se había precipitado en el transcurso del experimento. Cuando se producía un gas por la combustión de un cuerpo sólido, iban soslayando gradualmente el hecho de que unas veces se trataba de «aire fijado» y otras del «aire deflogisticado», que era muy diferente, pero no sabían que el primero —anhídrido carbónico— era un compuesto ni que el segundo —oxígeno— era un elemento. Priestley creyó durante mucho tiempo que el «aire fijado» era un elemento presente tanto en el aire común como en el oxígeno, su «aire deflogisticado». Se conocían muchos ácidos, pero no se sabía de qué estaban compuestos y, con frecuencia, se

suponía que todos ellos eran modificaciones de un ácido fundamental. El químico de aquellos tiempos tenía a su disposición toda una baraja de datos que podían ser ordenados de una manera o de otra sin que nadie supiera cómo se jugaba con aquellas cartas. Existía tal grado de confusión que la química comenzó a atribuir a los cuerpos una composición de elementos míticos de lo más extraña. Era posible que mientras no cesara aquella anarquía, cualquier aseveración de carácter puramente doctrinal sobre lo que debería ser un elemento químico (como la que propuso Boyle) no ejerciese efecto alguno, por quedar fuera de lo que por entonces se consideraba el núcleo del problema.

En ese momento surgió un hombre de esos que son capaces de sobresalir por encima de los demás, de contemplar las piezas diseminadas del rompecabezas y vislumbrar la forma que se les ha de dar para que reflejen una imagen concreta y bien definida. Se trata de Lavoisier, y es difícil negarse a reconocer que supera con su estatura a cualquiera de los otros químicos contemporáneos suyos y que en realidad es uno de los miembros de ese reducido grupo de gigantes que ocupan los lugares más altos de la historia de la Revolución científica. En 1772, cuando tenía veintiocho años, repasó toda la historia de los estudios modernos sobre los gases y dijo que lo que se había hecho hasta entonces no constituía nada más que los eslabones aislados de una cadena que requería un número muy elevado de nuevos experimentos dirigidos a establecer los puntos de enlace que faltaban y reunirlos en una unidad. Comenzó un estudio completo del aire que liberan las sustancias y que se combina con ellas, y afirmó de antemano que aquella labor le parecía «destinada a desencadenar una revolución en la física y en la química». Dos años más tarde volvió a repasar, esta vez más detenidamente, todo cuanto se había hecho, y añadió a ello ideas y experimentos suyos para demostrar que cuando se calcina un metal cualquiera, extrae un «fluido elástico» del aire, aunque todavía no había conseguido aclarar si el gas que se producía en una ocasión determinada era «aire fijado» (anhídrido carbónico) u oxígeno. Llegó a presentir que no era el aire en su totalidad el que entraba en el proceso de la combustión o de la calcinación, sino un gas particular contenido en el aire, y que lo que se denominaba «aire fijado» tenía un origen incierto; señaló

que cuando se calentaban juntos carbón y «plomo rojo» (el minio), el gas no se producía a partir de ninguna de las dos sustancias por separado, sino que tomaba un poco de cada una de ellas y, por tanto, tenía el carácter de los cuerpos compuestos. Por otra parte, muy pronto llegó a la conclusión de que, cuando se calentaba por separado, el minio producía un gas que estaba íntimamente relacionado con el aire común.

Cuando oyó que Priestley había aislado un gas en el que una vela ardía mejor que en el aire común, su mente se lanzó enseguida tras la posibilidad de una gran síntesis. Trató injustamente de atribuirse el mérito del descubrimiento, pero es cierto que fue él quien se percató de la importancia del hecho y quien supo expresar todo lo que de sorprendente conllevaba. En abril de 1775 publicó un artículo famoso, «Sobre la naturaleza del principio que se combina con los metales durante su calcinación y que aumenta su peso», en el cual echaba por tierra su idea anterior de que el principio en cuestión podía ser «aire fijado» —anhídrido carbónico— y llegaba a la conclusión de que se trataba de la parte más pura del aire que respiramos. Tuvo entonces la idea de que el «aire fijado» era en realidad un compuesto —una combinación de aire común con carbón—, y muy pronto llegó a la conclusión de que se trataba de carbón más «la parte eminentemente respirable del aire». Acto seguido dedujo que el aire común consistía en dos «fluidos elásticos», uno de los cuales era precisamente esta parte eminentemente respirable. Siguiendo por este camino, comprobó que todos los ácidos se formaban por la combinación de sustancias no metálicas con «aire eminentemente respirable», de manera que describió a este último como el principio acidulante, o *principe oxygène*. Como resultado de esta teoría, el oxígeno adquirió su nombre actual, y en la mente de Lavoisier figuraba como un elemento irreductible, aparte de que contenía «calórico», que era el principio del calor.

Lavoisier no era uno de esos hombres hábiles en la experimentación y en materia de aparatos, pero fue sacando conclusiones de los trabajos de sus contemporáneos y del resto de los datos que se habían acumulado durante un siglo de historia química, y los hizo servir a sus propósitos. Algunas veces, sus resultados experimentales no eran tan exactos como él pretendía, o se lanzaba a elucubraciones antes de haber establecido la prueba de que

así era, o se fiaba de observaciones efectuadas por otros antes que él. Aunque empleó la palabra «flogisto», muy pronto comenzó a pensar como si no existiera tal cosa, y le desagradaba la doctrina incluso antes de tener suficientes datos para rebatirla. En 1783 lanzó su ataque contra la teoría del flogisto en general. Demostró que cuando se reducía una cal con carbón, las transposiciones de los diversos ingredientes podían ser explicadas sin tener que recurrir a un flogisto que pasaba desde el carbón hasta el metal recuperado. Entretanto, en 1778 el químico francés Macquer había propuesto la teoría de que el flogisto era la materia pura de la luz y del calor, pero Lavoisier ridiculizó la idea y demostró que con la teoría del flogisto no tenía en común nada más que el nombre, que se refería a una sustancia sólida que poseía peso. Demostró que, en todo caso, las teorías de Macquer incurrían en contradicciones. Parece como si la discusión en torno a la teoría del flogisto hubiera despertado, como afirmó Priestley, más «celo y afán de emulación» que ninguna otra «en toda la historia de la filosofía». Al principio, los médicos y los matemáticos de Francia se inclinaban por Lavoisier, mientras que los químicos seguían firmes en sus prejuicios profesionales, y parece que buena parte del mérito de haber llevado a la victoria a la nueva teoría corresponde más que nada a una nueva generación de químicos de aquel país. La resistencia en Inglaterra fue más fuerte, y Cavendish se negó a ceder, aunque más tarde se retiró de la controversia; Joseph Black se adhirió a Lavoisier ya muy tarde, mientras que Priestley se mantuvo firme y en 1800 publicó su obra *Doctrine of Phlogiston Established and the Composition of Water Refuted*. Al igual que la controversia entre Newton y Descartes, este nuevo *casus belli* científico produjo algo parecido a una división de orden nacional. Priestley demostró una vivacidad y un ingenio sorprendentes, pues poseía el tipo de mente que se dio cuenta al instante de la importancia del «aire fijado» para la producción comercial de aguas minerales y del oxígeno para fines médicos, pero que, sin embargo, no consiguió dejar limpia la mesa para poder distribuir las cartas sobre ella de tal forma que aclarasen la situación. Al mismo tiempo, parece que su resistencia a Lavoisier obligó a este último a repasar sus ideas y a desarrollarlas de nuevo de forma más convincente. Es curioso observar que hasta Lavoisier conservaba todavía una sombra de las

ideas antiguas sobre la combustión. Durante mucho tiempo el hombre se había visto sorprendido por la pérdida de calor y la radiación de luz, y a fin de explicar las dos cosas introdujo la idea de un «calórico» sin peso que desempeñaba un papel en el proceso de la combustión. Pero, como se vio más tarde, aquella idea pudo desligarse fácilmente del resto de su sistema.

En 1776, Volta estaba inflamando gases con chispas eléctricas y le transmitió sus descubrimientos a Priestley, quien llegó a creer que la electricidad era flogisto. En 1781 Priestley había comenzado a hacer detonar hidrógeno y oxígeno de esta manera —lo que él calificaba de «experimento fortuito»— y notó que el interior de los recipientes de vidrio «se cubría de rocío». Los hombres de ciencia estaban tan habituados a los depósitos de humedad de la atmósfera, o a recoger gases sobre agua, que habían observado muchas veces hechos similares, pero no se habían fijado en ellos, y un amigo de Priestley llamado Waltire repitió el experimento, pero se sintió más interesado en lo que en realidad había sido un error suyo que, no obstante, le hizo pensar que se había producido una pérdida de calor ponderable. Cavendish confirmó la producción de rocío y demostró que se trataba simplemente de agua, que los gases se combinaban en proporciones determinadas para producir tan solo agua y que durante el experimento no se había producido pérdida alguna de peso. Era difícil que la gente de entonces creyera que durante un experimento así no se había producido una transmisión o difusión de peso, pero Cavendish negaba que hubiera ocurrido nada semejante. Más difícil aún era que nadie creyera que el agua no era un elemento irreductible. Cavendish llegó a la conclusión de que el hidrógeno tenía que ser agua a la que se le había arrebatado su flogisto y de que el oxígeno tenía que ser agua flogisticada. Una vez más fue Lavoisier quien primero se dio cuenta de lo que sucedía en realidad al enterarse del experimento de Cavendish, y otra vez trató de arrogarse el mérito del descubrimiento. En noviembre de 1783 demostró que, en sentido estricto, el agua no era un elemento, sino que podía ser descompuesta y sintetizada, y con ello adquirió nuevas armas contra la teoría del flogisto. Quizá hubiera descubierto la composición del agua antes que los demás, pero durante todos aquellos años no había sido capaz de librarse de la tiranía de una preocupación suya —su idea de que el oxígeno era el gran principio

acidulante— que le llevó a buscar una sustancia ácida en el producto obtenido por la combustión del hidrógeno en una llama.

También fue notable en otros aspectos. Descubrió que los compuestos orgánicos producían al arder principalmente aire fijado y agua, y como sabía que el aire fijado era un compuesto de carbón y oxígeno, decidió que las sustancias orgánicas tenían que estar compuestas sobre todo de carbón, oxígeno e hidrógeno, e hizo grandes adelantos en el análisis elemental de estos tres elementos. Entretanto, otro francés llamado De Morveau había estado luchando para conseguir una nueva nomenclatura química, y a partir de 1782 Lavoisier trabajó con él, llegando a un nuevo lenguaje químico que es todavía la base del que empleamos hoy en día. La revolución que se había propuesto desencadenar en el campo de la química quedó incorporada a la nueva terminología, así como a un tratado nuevo de química que publicó, y al mismo tiempo consiguió establecer finalmente las ideas respecto al elemento químico que Boyle había entrevisto. En la práctica estaba muy dispuesto a aceptar como elemental una sustancia siempre y cuando se resistiera al análisis químico. Por tanto, afirmó su victoria sobre un campo muy extenso, de forma que hay que considerarle el verdadero fundador de la ciencia moderna.

12
IDEAS DE PROGRESO E IDEAS DE EVOLUCIÓN

Es posible que los hombres del Renacimiento fueran menos capaces incluso que sus predecesores medievales de contemplar la historia como la ascensión de la raza humana, o de considerar los siglos sucesivos como una serie que avanzaba continuamente. Los hombres del Renacimiento se encontraban en una situación muy peculiar para comentar el curso de la historia de la humanidad; su punto de vista estaba poderosamente influido por lo desusado de la plataforma desde la que se volvían para echar una mirada retrospectiva. Lo que veían detrás de ellos en la lejanía eran las cumbres de la Antigüedad clásica, que representaban la cima de la razón humana, las alturas que los griegos habían alcanzado y que habían estado perdidas desde entonces, el ideal por cuyo retorno estaban luchando con todo cuanto poseían de bueno. Entre la Antigüedad clásica y su tiempo quedaban las sombras de aquella Edad Media que había perdido todo contacto con la herencia del mundo antiguo y que en su mente no representaba más que la caída en el error y la superstición. Aun cuando su situación no fuese tan vívida, el pensamiento clásico, que tanta autoridad encerraba para ellos, les daba una imagen del proceso de las cosas en el tiempo —una teoría sobre la forma en que las cosas sucedían en la historia — que distaba mucho de parecerse a la idea moderna del progreso. Cuando dejaban correr su mente sobre el curso de los siglos, lo hacían gobernados por los términos de aquel punto de vista antiguo que en un nivel representaba una imagen estática del curso de las cosas en general y en otro (y en la forma en que consideraba los procesos internos dentro de estados o civilizaciones particulares) encerraba una teoría de decadencia, combinándose el total para producir en un sentido cambio y en otro invariabilidad dentro de un sistema que podríamos tildar de cíclico.

Este modo antiguo-moderno de ver la historia, que tan en boga estuvo durante el Renacimiento, queda expresado explícitamente, y en una de sus formas más extremadas, en los escritos de Maquiavelo. En su opinión, los seres humanos actúan a lo largo de los siglos sobre el escenario inmutable de la Tierra, y la naturaleza entera es la que constituye este escenario permanente sobre el que se superpone el drama humano. Los seres humanos son siempre los mismos, siempre están hechos del mismo barro o, quizá mejor dicho, son mezclas distintas de unos ingredientes eternos y universales que son la pasión, los afectos y el deseo. Por tanto, la contextura de la narración histórica sería siempre fundamentalmente la misma, sin depender para nada del periodo en que se desarrollase, y si alguien pudiera contemplar todo el panorama de la vida a vista de pájaro, el aspecto conjunto del mundo sería muy parecido en todas las edades históricas. Se vería, por ejemplo, que una ciudad o una nación florece durante cierta época, para decaer y ser sustituida por otras en épocas posteriores, pero la visión general del mundo sería siempre la misma. En efecto, Maquiavelo nos dice explícitamente que se inclina a opinar que la cantidad total de virtud que contiene el mundo es siempre la misma. En una época, toda ella se concentró en el Imperio romano, y en otra se dispersó por todo el planeta, sin embargo el mundo era siempre, fundamentalmente, el mismo.

Por otro lado, tomando el ejemplo aislado de una ciudad, un Estado o una civilización, el efecto natural del tiempo hacía que se produjesen corrupciones internas; lo que se esperaba como simple repetición rutinaria de los ciclos históricos era un proceso de decadencia. Algo similar se podía observar a la vez en el mundo físico, donde los cuerpos tienden a la descomposición y las estructuras más admirables de la naturaleza están condenadas a sufrir la putrefacción. De hecho, la ciencia entonces predominante rimaba con aquella visión de la naturaleza, pues en ambos ámbitos se partía de que los cuerpos compuestos tenían una tendencia natural a descomponerse. Esto no significaba que toda la historia fuera un largo proceso de decadencia; tan solo quería decir que nacer, medrar, era algo extraordinario, algo contra todas las leyes naturales, al igual que el hecho de que la estabilidad se mantuviese durante periodos largos —incluso el de resistir mucho tiempo el proceso de la corrupción— constituía una

hazaña. Todo hombre consideraba lógico, y comprendía perfectamente, que si un pueblo realizaba una hazaña extraordinaria, o si la fortuna le asistía con generosidad —si, por ejemplo, encontraba a alguien con dotes geniales que le gobernase—, llegaría a encumbrarse en la historia en muy poco tiempo. Solo cuando la fortuna dejaba de mostrarse tan dadivosa con él o su genio gobernante moría, o cuando se cansaba del esfuerzo anormal que estaba haciendo —en otras palabras, cuando la vida volvía a su cauce normal—, las tendencias usuales de la naturaleza volvían a predominar y comenzaba una vez más el proceso normal de decadencia y corrupción. Resulta lógico que si se les hubiera obligado a ello, muchos de los que pensaban del mismo modo respecto al desarrollo corriente de la historia habrían admitido ciertos progresos realizados en los principios mismos de la humanidad; desde los tiempos anteriores al descubrimiento del fuego, digamos. Pero no parece que las ideas que tenían sobre la sucesión de las épocas históricas se rigiesen por hechos de este tipo.

Al opinar así sobre el universo, no se consideraba que el tiempo y el curso de la historia pudiesen generar nada. De la misma manera, tampoco existía la concepción de un mundo abierto a hechos y cosas cada vez más grandiosos, de un futuro de horizontes cada vez más extensos; ni siquiera existía la idea de una civilización en estado perpetuo de desarrollo. Más bien se suponía la existencia de un ciclo de cultura cerrado, se creía que existían límites en lo que el ser humano podía lograr, y su horizonte no iba más allá de la aspiración de volver a alcanzar la sabiduría de la Antigüedad, como si no se pudiera esperar nada mejor que llegar a ser tan sabio como los griegos o tan político como los romanos. Ahora vemos que resultaba comprensible la noción de un «renacimiento», que se asociaba a ideas que nacían en la leyenda del ave Fénix; y encontramos señales de algo similar ya a finales de la Edad Media, cuando el movimiento humanista estaba asociado al sueño de rescatar el papado de Aviñón y el imperio de Alemania, de forma que la rueda acabase su revolución completa hasta una nueva supremacía absoluta de Roma.

Al reflexionar de nuevo sobre las ideas antiguas respecto al proceso histórico, nos explicamos por qué durante el Renacimiento era bastante menos probable creer en lo que nosotros llamamos progreso de lo que lo

había sido durante la Edad Media. Si acaso, era más fácil pensar que se diera un proceso de esta índole en el ámbito de las cuestiones del espíritu antes que en cualquier otro, creer en etapas que se sucedían unas a otras en el transcurso del tiempo en una serie ascendente (aunque posiblemente lo hicieran a saltos bruscos) y encontrarle así un sentido al devenir de los tiempos. La transición desde el Antiguo Testamento hasta el Nuevo, y la idea de un Reino del Padre seguido de un Reino del Hijo a los que seguía un Reino del Espíritu Santo, son ejemplos de lo que decimos. Alguien ha dicho que la idea moderna del progreso le debe mucho al hecho de que el cristianismo le ha otorgado un significado a la historia y nos ha ofrecido un propósito, una meta grandiosa hacia la que se dirige toda la creación. Dicho en otras palabras, la idea del progreso significaría la secularización de una actitud, religiosa en sus principios, que miraba hacia delante en pos de la realización grandiosa en un suceso futuro y lejano, dándole de este modo a la historia una dirección y una finalidad definidas.

La mayor parte de las ideas fundamentales que se tenían sobre la historia en los tiempos del Renacimiento se aprecian todavía claramente en las controversias de finales del siglo XVII, pero la famosa querella entre los antiguos y los modernos —la controversia durante la que se forjó una idea más moderna del progreso— comienza ya a discernirse durante el Renacimiento. No obstante, en esta época todo el mundo estaba en cierto sentido de acuerdo con los antiguos —y quizá no se equivocasen al hacerlo, pues la Antigüedad tenía aún muchas cosas que enseñar a Europa occidental —, de modo que de lo que se trataba realmente era de hasta qué punto había que llegar en la emulación de los clásicos. Maquiavelo decía que había que imitar a los romanos hasta en el último detalle, y se le echaba en cara que menospreciase la pólvora porque los romanos no la habían usado. No obstante, Guicciardini insistía en que era necesaria una política de imitación más flexible, porque las condiciones eran distintas. Opinaba que, al estudiar las bases sobre las que se había de fundar una ciencia militar, debían tenerse presentes todas y cada una de las invenciones modernas. Ya hemos visto que una de las escuelas renacentistas seguía fielmente todas las enseñanzas médicas del mundo clásico tal y como las habían transmitido los árabes;

otra escuela no se contentaba con esto, sino que exigía seguir al pie de la letra el propio texto griego y atesorar más conocimientos de la Antigüedad.

No obstante, incluso en el siglo XVI nos encontramos más de una vez con un hecho de particular importancia en relación con esta evolución de las ideas que estamos estudiando. Algunos se dan cuenta de que el compás náutico, la impresión de libros y el empleo de artillería representan adelantos tan relevantes como cualquiera de los que se produjeron en el mundo antiguo. Algunos emplean este argumento incluso sin aludir para nada a la influencia que el Lejano Oriente pudiese haber tenido en ellos; hacen uso de todo esto sencillamente como demostración de las proezas de Occidente, de los adelantos de los tiempos modernos. Se supone que los nuevos mundos que los descubrimientos geográficos habían abierto y la multitud de libros publicados constituyen un fuerte contrapeso de la tan vanagloriada superioridad de los clásicos.

No podía pasar mucho tiempo sin que el mundo se percatase de que ciertas formas de saber científico iban prosperando simplemente por el paso del tiempo, ya fuera por la acumulación de nuevos datos —por el simple acopio, cada vez mayor, de observaciones científicas— o por la continua revisión de los resultados y las mejoras de los métodos de investigación y trabajo. Hasta entonces, esto se había hecho notar principalmente en el caso de la astronomía. Antes de concluir el siglo XVI, Giordano Bruno ya señalaba que incluso en el mundo antiguo Ptolomeo había construido su sistema sobre las observaciones de sus predecesores; estos a su vez contaron con la ventaja de tener a su disposición lo que otros todavía anteriores a ellos habían alcanzado, mientras que Copérnico, al disponer de todos los datos que sus predecesores le habían dejado, estaba en mejor posición que ninguno de ellos para saber en qué situación se encontraba todo en el cielo. De hecho, decía Bruno, somos nosotros los antiguos y los que gozamos de los beneficios de la experiencia acumulada por la humanidad, y la edad de los griegos pertenece en realidad a la infancia del mundo. Este argumento de que nosotros somos los más antiguos aparece repetidas veces durante el siglo XVII, pero la comparación del conjunto de la historia con la vida de un hombre iba a ser empleada irremediablemente para fines opuestos, y es posible que Francis Bacon diera una impresión

errónea cuando demostró que los modernos eran en realidad los más viejos, porque se volvió necesario, antes de que finalizase el siglo XVII, luchar contra una versión todavía más extremista de la doctrina de la decadencia del mundo —la idea de que nos encontrábamos en plena vejez del mundo y de que la naturaleza ya no era capaz de desplegar las mismas energías que antes—, y esta noción llevaba implícita no una visión estática de la marcha de las cosas a lo largo del tiempo, sino un sentimiento de que la propia naturaleza estaba sufriendo un largo proceso de agotamiento. Fontenelle fue quien se propuso contestar a este argumento a finales del siglo, y lo hizo diciendo que si la especie humana fuese comparada con un hombre, tendría que pensarse en uno que fuera adquiriendo experiencia sin envejecer nunca. Aunque la Revolución científica glorificase a Arquímedes en su vertiente mecánica, aunque las formas revividas de la filosofía atomista llevaban las ideas hacia otro aspecto del pensamiento clásico, la demanda consciente de una nueva ciencia y de nuevos horizontes, sumada al descrédito de Aristóteles y la insistencia de Descartes en lo importante que era dejar la mente libre de toda tradición, supusieron un golpe terrible para la autoridad de que gozaba la Antigüedad.

No obstante, fueron el encanto de Versalles y la gloria literaria del reinado de Luis XIV los que condujeron a la forma nueva y más fundamental de la controversia entre los antiguos y los modernos a finales del siglo XVII, que constituyó una fase muy importante en la evolución de la idea del progreso. Uno de los aspectos de la autoglorificación a que se abandonó aquella época fue la generalización de la idea de que las glorias de la antigua Grecia habían cobrado nueva vida en los gigantes literarios del *grand siècle*. Charles Perrault precipitó la controversia al publicar en 1687 una obra en verso titulada *La era de Luis el Grande*, y entre 1688 y 1697 sacó a la luz su *Paralelo entre los antiguos y los modernos*. Sin embargo, otro autor, Desmarets, le había precedido a principios del siglo al continuar la controversia literaria contra los antiguos, y entre otras cosas pretendía que los temas cristianos ofrecían mayor campo para los poetas que la mitología antigua, tesis que ilustró en poemas épicos propios, aunque lo hizo mejor Milton en Inglaterra. Había comparado la Antigüedad con la primavera y los tiempos modernos con la edad madura, con el otoño del

mundo, por decirlo así; los defectos de los siglos anteriores, afirmó, habían sido corregidos, y los que llegaban más tarde eran los que más podrían gozar de la felicidad y del saber. Es interesante darse cuenta de que este hombre, Desmarets, dejó en herencia su tesis a Charles Perrault, a quien le confió la continuación de la disputa, y de hecho fue este último el que levantó más revuelo y el que motivó la controversia. Decía que Platón llegaba algunas veces a sentir tedio y, al igual que otros, estaba dispuesto a sostener que hasta Homero se había echado un sueñecillo alguna vez. En su opinión, la edad de Luis XIV había superado las proezas literarias del mundo clásico, puesto que, al igual que los antiguos no conocían más que los siete planetas y las estrellas más brillantes, mientras que nosotros habíamos descubierto los satélites de los planetas e innumerables estrellas pequeñas, los antiguos no habían conocido más que las pasiones del alma *en gros*, mientras que nosotros conocíamos infinidad de distinciones sutiles y de otras circunstancias concomitantes.

Es interesante señalar que, aunque la controversia que se produjo fue en esencia literaria, el hecho decisivo que surgió de ella —y el argumento que inclinó la balanza a favor de los modernos— tenía que ver con los adelantos realizados en las ciencias naturales y en los aspectos afines de la vida y de la sociedad. Y por estas fechas se aprecia claramente que en el debate sobre la posición que las ciencias ocupan en el panorama de los siglos, se vislumbraba ya una actitud que deberíamos llamar «más histórica». Antes, como ya hemos visto, existía la idea de la necesidad de una revolución científica, pero se creía que ocurriría y concluiría con un gran episodio histórico que pusiese una nueva visión del universo en el lugar que ocupaba la de Aristóteles, y Bacon había imaginado que la labor del experimentador y todos los descubrimientos se podrían terminar en un tiempo limitado, mientras que Descartes creía importante que la revolución la llevase a cabo una sola mente. Todavía prevalecía una visión cataclísmica de los adelantos de esta índole y, en consecuencia, con todo esta manera de pensar, aquella época creía que los estados se podían formar mediante un contrato social antes que por medio de un crecimiento gradual que, por decirlo así, se iba produciendo en la naturaleza. Sin embargo, a finales del siglo XVII empieza a quedar claro que el hombre concibe la ciencia como algo joven, con todo

un futuro por delante —un futuro cada vez más amplio—, y Fontenelle nos dice que las ciencias están todavía en la cuna. En esta nueva situación de la controversia entre antiguos y modernos, los primeros encuentran difícil negar el progreso que se ha estado realizando por parte de los últimos, y aunque existe una tendencia a discriminar y decir que el arte y la literatura de los antiguos griegos todavía no han sido superados, el mundo moderno podría aproximarse tanto, incluso en el campo de la poesía, que parece como si, visto en conjunto, estuviera ya por delante de los clásicos. En cualquier caso, la suma de la ciencia, la industria, las mejoras sociales y el nuevo desarrollo de las comunicaciones proporciona un buen argumento a favor de los modernos, y se empleó una argucia muy popular para darles a estos la palma basándose en la opulencia que se hacía sentir por todas partes. La impresión general de abundancia, la sensación de seguridad relativa —de estar asegurados contra el infortunio y la enfermedad—, el progreso del lujo y las maravillosas máquinas, todo ello era descrito de una forma que nos recuerda a Macaulay en el siglo XIX; y se destacó que el ciudadano de París caminaba por las calles en medio de un esplendor mayor que el que correspondía a una marcha triunfal en los tiempos de Roma. Comenzaba a percibirse incluso cierta intolerancia hacia la barbarie de siglos anteriores, y sacamos una impresión de modernismo al oír a hombres indignados por que las calles de París hubieran tenido que esperar tanto para ser pavimentadas. La gente soñaba con los tiempos en que la que llamaban «civilización mecánica» sería llevada a países hasta entonces incivilizados. Todas las tendencias de las nuevas filosofías llevaban a dejar de lado la idea de una providencia que no parecía más que una interferencia caprichosa con las leyes naturales, y, desde luego, el nuevo poderío que se iba a adquirir sobre todo lo material alentaba la idea de que, por decirlo así, el hombre era capaz de tomar las riendas de su propia providencia. La nueva obra histórica —el estudio de los mitos por parte de Fontenelle, por ejemplo, así como los escritos de Vico, el examen de las sociedades primitivas y el análisis del desarrollo de la razón humana— infundía ánimos a la idea de que el hombre poseía una razón natural que solo requería verse liberada de tradicionalismos, instituciones y mala educación. Así pues, también era posible una mejora general del individuo mismo, algo que

comenzaba ya a observarse por entonces. Quedaba abierto el camino a la doctrina de la perfectibilidad del hombre, que sería alcanzada por medio de instituciones coadyuvantes.

La transición a la idea del progreso, sin embargo, no podía realizarse de golpe, y no podemos decir que a finales del siglo XVII la idea hubiera alcanzado ya todo su desarrollo ni constatar que sus implicaciones fuesen ya de dominio general. Ni siquiera los partidarios de los modernos frente a los antiguos pueden ser definidos como apóstoles de lo que nosotros concebimos como progreso. Ni siquiera Perrault, aunque opinaba que la civilización había alcanzado una nueva cúspide en la Francia de Luis XIV, consideraba que la ascensión se podría prolongar indefinidamente; creía que cuando su época hubiese finalizado, el mundo volvería a su estado normal, y que muy pronto comenzaría una vez más el proceso de decadencia. De hecho, Perrault opinaba que no habría muchas cosas en la posteridad que la Francia de Luis XIV hubiera de envidiar. Y Fontenelle, aunque se daba cuenta de los horizontes cada vez más amplios que el futuro prometía a las ciencias naturales, era bien consciente de las limitaciones de la naturaleza humana para compartir las ilusiones de muchos *philosophes* respecto a las mejoras generales que se producirían en el mundo. Lo que se arguye en las controversias de finales del siglo XVII es que la naturaleza es la misma en todas las edades, que todavía tiene energías para dar lugar a hombres geniales capaces de afirmarse ante los gigantes de los tiempos antiguos. Fontenelle se lanza a demostrar que la naturaleza no ha perdido en el siglo XVII nada de su capacidad de proliferación; las encinas modernas son tan altas y gruesas como las de la antigua Grecia. Al mismo tiempo, quizá de manera casi fortuita, comienza a afirmarse la idea de que empieza a haber una mejoría general de las condiciones y en especial de aquello que concierne al bienestar de los seres humanos corrientes. Hasta podemos vislumbrar que son esas cosas precisamente las que comienzan a pesar en la mente del hombre del pueblo, peso que acabaría sirviendo para inclinar la balanza a favor de los modernos. Los escritores podían emplear esta idea del progreso general de las condiciones humanas como un hecho comprendido por todo el mundo.

Todavía en el siglo XVIII resulta difícil reconciliar algunas de las ideas y de los prejuicios predominantes con cualquier esquema histórico basado en la idea de progreso. El respeto a la razón innata y la opinión de que las instituciones podían pervertirla condujeron a una serie de elucubraciones sobre el «noble salvaje» y los males de la civilización, como nos lo demuestran los escritos de Rousseau. Cuando John Wesley fue a América en su juventud, lo hizo no solo con la idea de realizar una labor de misionero, también creía que la mente de los nativos arrojaría luz sobre la propia Biblia, porque eran mentes incorruptas por los siglos que se enfrentarían de repente con la revelación de las Escrituras. Las ideas políticas de la Inglaterra del siglo XVIII son formuladas aludiendo a un esquema de la historia que todavía creía que, en algún pasado distante, había existido un siglo de oro del constitucionalismo. La literatura de la reforma parlamentaria de la década de 1770, y la de la Asociación de Yorkshire de la de 1780, realza el hecho de que en la Inglaterra anglosajona prevalecían los parlamentos anuales y el sufragio universal del hombre, aunque los sucesivos tiranos habían tratado de borrar toda huella de la existencia de aquellas antiguas libertades. Encontramos máximas y tesis imbuidas del liberalismo del siglo XVIII que fueron tomadas directamente de Maquiavelo y que advertían de la tendencia degenerativa de la libertad si los hombres de todas las generaciones no aguzaban el ingenio para preservarla. En los tiempos más primitivos de su historia, los ingleses habían gozado de las mejores constituciones, pero algunos creían que durante el reinado de Jorge III se habían corrompido casi por completo.

De hecho, el intento de reunir todo el curso de las cosas en el tiempo y de relacionar unas con otras las épocas sucesivas —la transición hacia la idea de que el tiempo se dirige efectivamente hacia una meta, de que la sucesión temporal tiene un significado y de que el paso del tiempo es generador—, sufrió la influencia del hecho de que el periodo que había que abarcar era más extenso que el de la historia del hombre, y muy pronto las mentes comenzaron a situar la geología, la prehistoria y la historia en el orden que les corresponde. La nueva ciencia y la nueva historia se unieron en sus esfuerzos, y cada una de ellas alcanzó un nuevo poderío como resultado del apoyo mutuo. El concepto mismo del progreso adquirió

nuevas implicaciones cuando comenzó a surgir gradualmente una idea más amplia de la evolución. Sería conveniente elaborar —aunque haya de ser necesariamente de segunda mano y aunque quizá no haya llegado todavía el momento de que podamos comprender a fondo el asunto— un esquema de las tendencias que se estaban desarrollando en este campo durante el periodo que estamos estudiando.

La historia de la idea de evolución está relacionada con el desarrollo de nuevos sistemas de clasificación del reino animal y vegetal. Un estudio rápido de esta historia podría comenzar quizá con la obra de John Ray en los últimos años del siglo XVII, pues al parecer puso en duda la noción de las «especies» más que ninguno de sus predecesores, y algunas de sus observaciones apoyan las opiniones tradicionales según las cuales las distintas especies habían sido fijadas ya desde el día en que Dios descansó de su labor creadora. Esta era también la opinión de Linneo, cuya tarea clasificadora en la década de 1730 le granjeó una reputación que perduró hasta la época de Darwin. El naturalista sueco suponía que todos los individuos de una especie dada podían ser relacionados con una especie idéntica que existía ya en los tiempos de la creación, y el que apoyase con su gran autoridad la idea de la inmutabilidad de las especies había de tener mucha importancia. Algunas veces sucede que no son los mejores pensamientos de un hombre los que son recordados y adquieren ímpetu al ser asociados a su nombre. Hacia los últimos años de vida, Linneo se fue volviendo más reservado en sus opiniones sobre la delimitación entre las especies, en parte porque había descubierto muchas superposiciones, y también porque había trabajado en su propio jardín e incluso obtenido numerosos híbridos. Sin embargo, por lo visto no fue este aspecto de su obra el que influyó en el mundo. De hecho, se aprecia claramente que sus sucesores eran más rígidos respecto a estas ideas de lo que lo había sido él mismo en sus mejores momentos.

Antes que él, el filósofo alemán Leibniz había adoptado una actitud más flexible. A principios del siglo XVIII había recalcado su idea de la continuidad de la creación y de la gradación ininterrumpida de los organismos de la naturaleza. Había llamado la atención sobre los peces que tienen alas y son capaces de vivir fuera del agua, así como sobre las aves

que viven en el agua y tienen sangre fría como los peces, y asimismo había señalado el caso de animales que casi eran aves. En sus opiniones sobre la naturaleza influyeron al parecer los descubrimientos realizados por el microscopio en la segunda mitad del siglo XVII, cuando se había demostrado que hasta una gota de agua estaba repleta de seres vivos. En lugar de reducir el universo a átomos rígidos y sin vida, lo creía compuesto de pequeñas partículas de materia que eran mónadas vivas o principios vitales, y que servían de base a los organismos vivos; opinión que influyó en muchos biólogos, especialmente porque así resultaba más factible explicar la variedad de combinaciones que existían en la naturaleza y se podían comprender los orígenes de diversas formas de vida sin tener que recurrir a un acto de creación especial. La suposición de que estas diminutas partículas vitales explicaban desde sus orígenes las diversas formas de vida que existían en el mundo, ayudó a prolongar la idea de la generación espontánea hasta un periodo en que de otro modo no hubiera podido considerársela verosímil. John Locke había señalado lo indefinidos que eran los límites que separaban a una especie de otra, descendiendo todas ellas «por pasos sencillos y una serie continua de cosas que, a cada nuevo grado, difieren muy poco una de otra, hasta las partes más bajas e inorgánicas de la materia». Sostenía que las diversas especies en realidad no tenían una existencia independiente; de hecho, no eran creadas más que por la mente humana, que reducía a la naturaleza al orden, y no eran obra de esta última. En conjunto, parece que en tiempos de Locke había sido bastante más fácil poner en duda la cuestión de la inmutabilidad de las especies de lo que lo sería más tarde, durante casi todo el siglo XVIII. Parece como si la influencia de Linneo hubiese motivado en parte el enquistamiento de ideas que se produjo en épocas posteriores.

Efectivamente, en el siglo XVIII llega a su punto culminante en el pensamiento científico, en la filosofía y en la literatura el concepto de la «gran cadena de la existencia», la idea de una serie infinita y gradual de seres que se extiende desde la naturaleza inanimada hasta el propio Dios, y en la cual el hombre ocupa un lugar más o menos intermedio, si es que llega tan arriba. No se pensaba que la totalidad de la serie tuviera que existir por fuerza en nuestro planeta, pero se suponía que existían tantas variedades y

tantos individuos como pudieran coexistir sin problemas, de modo que se realizasen todas las posibilidades de la existencia y que incluso a costa del mal que lo acompañaría, llegaran a fructificar todas las posibilidades del bien. Cada individuo de la serie existía por sí mismo y no simplemente como un eslabón de la cadena, y a buen seguro no con la mera finalidad de servir al hombre como fin último de la creación. No obstante, cualquier gradación conocida debía ser imaginada de tal forma que fuera capaz de sufrir nuevas subdivisiones, y el interés se centró principalmente en los eslabones que faltaban, sobre todo en los puntos de transición entre las plantas y los animales y entre estos y el hombre. De ahí la profunda emoción que se apoderó de todos al descubrir Trembley en 1739 el pólipo de agua dulce llamado *Hydra*, que parecía constituir el eslabón que faltaba entre las plantas y los animales; también así se comprende el interés por los hotentotes, que desde finales del siglo XVII casi eran considerados un estadio intermedio entre el mono y el *Homo sapiens*. Aun así, toda la noción de la «cadena de la existencia» podía ser combinada con la idea de la inmutabilidad de la naturaleza, porque todas las formas potenciales del ser podían considerarse como si hubiesen existido siempre al mismo tiempo, de tal modo que la plenitud del universo pudiera ser completa. Llegaba a ser molesto que los fósiles nos permitieran deducir la existencia de especies ahora extintas en periodos geológicos antiguos. Y aunque ya a principios del siglo XVIII ya existía la idea de que las formas animales más primitivas eran las que vivían en los mares, también estaba la teoría de que todas las generaciones futuras existían ya dentro de la primera, de que todas las generaciones futuras existían, ya formadas, dentro del primer individuo —en Eva existían ya doscientos mil millones de hombres en miniatura—, de modo que el tiempo no intervenía para nada en su configuración futura. El proceso notable que se dio en el siglo XVIII fue la transformación de la «cadena de la existencia» a términos históricos, el hacer de ella una escala gracias a la cual el mundo vivo había alcanzado su estado actual. Incluso en un sentido más amplio que este, se comenzaba a ver al universo no como algo que existía simplemente en el espacio, sino como algo que tenía también su historia.

Aunque hacía ya tiempo que se relacionaba a los fósiles con los mares y con el diluvio universal, eran también frecuentes otras suposiciones más peregrinas, y una de ellas era que habían salido de unas simientes que habían sido arrastradas por grietas subterráneas hasta la cima de las montañas y que allí las había hecho germinar la nieve. Si no se creía en esta teoría, se podía pensar que antes de que la tierra y el agua se separasen durante la creación, habían existido ya en la arcilla del caos, y al ser esta exprimida como una esponja, las aves y los peces habían salido con el agua, mientras que las plantas y los animales habían sido atraídos hacia la tierra, aunque algunas criaturas no se habían podido emancipar por un motivo accidental. Había incluso quien creía que los fósiles del Mont Cenis habían caído de los alimentos de los peregrinos que pasaban por allí; que, por ejemplo, eran peces que se habían petrificado con el paso del tiempo. Sin embargo, con el avance del siglo XVIII se fue aceptando de forma cada vez más generalizada la teoría de que los fósiles los habían formado los yacimientos que había dejado el océano en épocas prehistóricas. En los tiempos anteriores a la especialización moderna, parece que los coleccionistas de fósiles eran con frecuencia personas que también habían sido adeptos del movimiento anticuario. La Revolución científica se combinó con la evolución paralela de la historia, y entonces se tendió a considerar al mundo como algo que había evolucionado en el transcurso de las sucesivas edades.

Había ya algunas personas cuya mente había recorrido más ampliamente el espectáculo de la Tierra a lo largo del tiempo y que, tras el ámbito de la historia, más allá de la crónica de los reinos animal y vegetal, comenzaban a formarse una idea sobre un drama mucho más prístino al darse cuenta de que había mucho más que decir por lo que respecta a las épocas geológicas. A finales del siglo XVII estaba comenzando a renacer con gran vitalidad el interés por especulaciones de toda clase referentes a la historia de los fósiles y de las rocas. Leibniz tuvo la idea de que nuestro globo había sido tiempo atrás un sol, y nos describe una Tierra que se va solidificando de tal forma que su superficie, al contraerse, da lugar a las montañas. Se iban reuniendo los materiales necesarios para comprender más a fondo el proceso global que experimentaban las cosas en el tiempo,

trasladando al lienzo de los tiempos aquella amplitud de miras, aquella visión de conjunto que tan útil le había sido ya a la astronomía para averiguar la verdadera posición de la Tierra en el espacio. En los tiempos más antiguos habían existido ideas vagas respecto a la evolución de todo cuanto había en el mundo desde una especie de barro prístino, o de cómo surgían dioses de los cascarones de unos huevos primordiales. No obstante, la introducción en los tiempos modernos de una visión de todo el universo en términos de un proceso histórico era algo nuevo, y representó una fase sumamente importante en la evolución de la mente moderna. La transición ocurrida en el siglo XVIII habría implicado un cambio radical de las opiniones humanas aun cuando no hubiera situado a los hombres de ciencia en oposición con la historia bíblica de la creación. Y si bien debemos considerar que la idea de la evolución, al igual que la del progreso, no estaba todavía perfectamente desarrollada a finales de aquel siglo, parece como si todos los elementos esenciales del sistema de Charles Darwin se hallasen ya presentes por aquellas fechas. La ciencia y la historia se habían unido para presentar una idea nueva de una naturaleza que avanzaba lenta, pero inexorablemente, hacia alguna meta superior.

En los cincuenta años que siguieron a 1749, Georges-Louis Leclerc de Buffon elaboró una *Histoire naturelle* que habría de quedar como una de las grandes obras científicas del siglo XVIII. Fue sumamente industrioso, pero sus investigaciones no eran originales ni profundas, y se precipitó demasiado en sus generalizaciones para dar lugar, en parte, a una obra de divulgación de estilo depurado y elaborado (que algunas veces es demasiado afectado y pomposo), mientras que pretendía que su contribución a la ciencia sirviese también para la educación sentimental del hombre. Intentó ver a la naturaleza como un conjunto; nos dio una síntesis muy extensa y trató de dar una imagen histórica de la Tierra considerada como una morada de los seres vivos. Efectivamente, así como Newton redujo al parecer el mundo inanimado a un sistema de leyes, Buffon se propuso por lo visto realizar una proeza similar, incluso más amplia, reuniendo en su síntesis los fenómenos biológicos y extendiéndola hasta los ámbitos de la historia. Sus opiniones eran mudables y se le ha acusado de vacilar entre la creación bíblica y la idea de la evolución, así como también

se ha dicho que temió enfrentarse demasiado seriamente con las doctrinas de la Iglesia.

Buffon creía, al igual que Leibniz, que la Tierra había experimentado una vez un estado incandescente y, en su opinión, como los demás planetas, había formado parte del Sol, pero se había desprendido de él tras una colisión con un cometa. Desechaba la opinión tradicional de que la Tierra no tenía más que seis mil años de edad, e intentó señalar los periodos o fases de su historia: una época en que se habían formado las cordilleras; otra en que las aguas cubrían toda la superficie del globo; un tercer periodo en que los volcanes habían comenzado su actividad; otro posterior en que los animales tropicales habitaban en el hemisferio norte, y una fase en la que los continentes se separaron unos de otros. Sostenía que se producían cambios en los reinos animal y vegetal cuando la Tierra pasaba de uno de aquellos periodos a otro. Una de las tareas que se impuso en relación con este problema fue el estudio de los fósiles, que abundaban en las piedras que se estaban empleando para la edificación de París.

Nos lo encontramos haciendo suposiciones sobre los orígenes de las diversas formas de vida y el lugar donde aparecieron, así como sobre las influencias posteriores que las condiciones físicas en general ejercieron sobre ellas, aunque aquí, al igual que en otros lugares, no es del todo consecuente. Estaba dispuesto a pensar que no era necesario un acto especial de creación para explicar la presencia de seres vivos en este planeta, pues consideraba a la vida, por decirlo así, como una cualidad o capacidad en potencia de la materia misma. Tenía una idea similar a la de Leibniz en cuanto a que cada planta y cada animal estaba integrado por una masa de partículas diminutas, cada una de las cuales era un facsímil del individuo total, y aquello le permitía explicar el origen de los seres vivos sin tener que recurrir a un acto de creación. Intentó demostrar que no existía una delimitación exacta y absoluta entre los reinos animal y vegetal. Decía que la naturaleza siempre avanza por *nuances*. «Es posible descender por grados casi insensibles desde la criatura más perfecta hasta la materia más informe.» Existen muchas «especies intermedias», muchas cosas que son «medio de una clase, medio de otra». Por estos motivos, Buffon representaba una reacción contra la ortodoxia de Linneo y sus discípulos y

contra la rigidez de aquellos autores que consideraban que la clasificación constituía un fin en sí misma. Podía negar la teoría de que las especies eran inmutables y estaban separadas eternamente unas de otras. No obstante, se encontró con dificultades al tener que considerar la esterilidad de los híbridos, porque aquello parecía sugerir que las especies eran en verdad entidades reales, cada una separada e independiente del resto.

Algunos aspectos de las ideas de Buffon les parecerán extraños a los que en los tiempos actuales creen en la evolución, porque parece opinar que diversas especies vivas son formas degeneradas de tipos que habían sido perfectos en otro tiempo. No obstante, lanzó la idea de que el medio modificaba directamente la estructura de los animales y de las plantas, e insinuó la idea de que las características adquiridas eran hereditarias. Afirmó que muchas de las especies «habían sido perfeccionadas o habían degenerado debido a grandes cambios en la tierra y en los mares, por el favor o el desfavor de la naturaleza, por los alimentos, por la influencia prolongada del clima, contrario o favorable, no siendo ya como eran antes». Apuntó la posibilidad de que el caballo y el asno tuvieran un antepasado común, y llegó a decir que habría extendido su suposición al hombre mismo si la Biblia no le hubiera enseñado otra cosa. Dijo sobre el orangután: «Si prescindimos del alma, no le falta nada de lo que nosotros tenemos», y escribió: «El cerdo no parece haber sido formado a partir de una especie original y un plan perfecto, pues está compuesto de partes inservibles o, más bien, que no puede usar; tiene patas cuyos huesos tienen todos ellos una forma perfecta y que, sin embargo, no le sirven de nada». Sostenía que, si parecía que algunos de los órganos de los seres vivos ya no eran de utilidad alguna, los tiempos tenían que haberlos cambiado de manera muy radical. Tenía una cierta noción de la lucha por la existencia que eliminaba a los que no eran aptos y conservaba el equilibrio de la naturaleza.

Está claro que nos encontramos ya en un mundo intelectual completamente transformado. La obra de Buffon contempla al universo a lo largo de todas las edades y demuestra un sentido bien definido del curso continuo de las cosas en el tiempo. Implica un nuevo concepto de las relaciones entre el hombre y la naturaleza, y revela una disposición a estudiar al primero como parte integrante de la segunda. A partir de ese

momento comenzó a difundirse la idea de que muchos de los caracteres anatómicos del hombre indicaban que era un descendiente de cuadrúpedos y, aún más, que ni siquiera ahora estaba perfectamente adaptado a su posición erecta. Durante el mismo periodo, La Mettrie, en una serie de arriesgadas especulaciones basadas en la idea de las partículas vivas, según la cual estas se reunían para dar lugar a seres vivos, había discutido la aparición de las criaturas sobre la Tierra y había encontrado una explicación natural de los orígenes del hombre.

No obstante, parece como si aparte de las grandes síntesis y de los nombres famosos —al margen de hombres como Buffon—, la labor acumulada por una multitud de investigadores famosos contribuyera a los procesos evolutivos que se estaban produciendo. En la segunda mitad del siglo XVIII, las investigaciones en varias ramas de la ciencia estaban preparando el camino para un avance más sólido hacia la idea moderna de la evolución. Caspar Friedrich Wolff, en Alemania, contribuyó también en buena medida al hacer su estudio comparativo del desarrollo animal y vegetal y demostrar la presencia de este tejido celular que es común a ambos. En 1759 y 1768 atacó la popular teoría preformativa, que suponía que la hembra contenía los gérmenes de todas las generaciones venideras, encapsulados uno dentro del otro, e incluyendo cada uno de ellos a un individuo preformado que se suponía que ya existía en miniatura. Probó que los miembros y los órganos del embrión pasaban por toda una serie de transformaciones sucesivas, y dicho proceso le hizo pensar en que demostraba la actuación de una fuerza vital de cierta clase sobre una materia orgánica simple y homogénea a la que organizaba en estructuras vivas. Kölreuter estudió el polen e indicó, por una parte, la importancia de los insectos y, por otra, la del viento en la fertilización de las flores. Demostró, por ejemplo, por medio de sus experimentos con híbridos, que cuando se emparejaba un híbrido con sus especies madres ocurría una reversión (volvían a aparecer los caracteres originales). Christian Conrad Sprengel demostró que existían ciertas flores que precisaban ser fertilizadas por determinados tipos de insectos, mientras que otras podían serlo por insectos de diversas clases, y la posición de los nectarios de cada flor estaba adaptada a la forma de los insectos que acudían a cada una de las flores.

Petrus Camper, un holandés, estudió caras, e hizo notar las diferencias existentes entre las de los seres humanos y las de los monos, que en un primer momento pueden parecer muy similares a la del hombre, un tema que dio lugar a muchas controversias en la segunda mitad del siglo XVIII. Parecería que las ideas antiguas respecto a la inmutabilidad de las especies estaban condenadas a ser transformadas por la labor de los que se interesaban por la hibridación o por quienes, como Erasmus Darwin, se ocupaban de la cría de caballos, ovejas y perros.

La transición hacia el pensamiento evolucionista se vio apoyada por la difusión cada vez mayor que iban adquiriendo el historicismo y la idea de progreso, por tendencias filosóficas tales como considerar al mundo como algo vivo, creer en el *élan vital* y postular un principio formativo espiritual de alguna clase que actuaba a lo largo y ancho de la naturaleza, realizándose gradualmente a sí mismo. Jean-Baptiste Robinet (1735-1820) demuestra la influencia de estas ideas en su tratado sobre la naturaleza que apareció entre 1761 y 1768. Sitúa a todas las criaturas orgánicas en una escala lineal, pero para él todas las formas de vida inferiores son ya un presagio, un esbozo de lo que ha de ser la figura humana, y busca sugerencias de la forma del hombre hasta en los primeros momentos geológicos del mundo. Según él, los seres inferiores eran un estadio intermedio necesario antes de que el hombre pudiera ser creado como colofón de toda la creación. Había que probar antes todas las partes de la forma humana, en todas las combinaciones imaginables; sin ello no se hubiera llegado a descubrir la forma que se le tenía que dar al hombre. La historia de la Tierra misma no era sino «el aprendizaje de la naturaleza para averiguar cómo se habría de construir el hombre». Robinet ilustra también otra opinión muy extendida en su época y que ayudó a las especulaciones evolucionistas, la idea de que los átomos de que estaba compuesto todo no eran simple materia muerta, sino que cada uno de ellos poseía un cuerpo y un alma. La materia inorgánica era capaz de organizarse en combinaciones que daban lugar a seres vivos; no había realmente una diferencia marcada entre lo animado y lo inanimado. Existían gradaciones infinitamente sutiles entre todas las cosas de la naturaleza, pero la cadena de la existencia no tenía solución de continuidad; detrás de todas las variaciones se podía descubrir siempre un

plan común, un prototipo único que aseguraba la continuidad. Y esta idea que encontramos en Robinet iba a continuar desarrollándose en las obras de Herder y Goethe en Alemania. Además, una época que desde hacía tiempo estaba familiarizada con los debates acerca de la influencia del clima y del medio sobre las diversas secciones de la especie humana, estaba preparada para reflexionar, como hizo Robinet, sobre la manera en que el mundo exterior podría condicionar el desarrollo de las plantas y los animales.

También comenzaban a constituirse en una ciencia las ideas e hipótesis geológicas que habían comenzado a aparecer desde hacía mucho tiempo, y a partir de 1775 empezaron a adquirir mayor importancia de la que nunca habían tenido antes. Para finales del siglo XVIII habían sido llevadas ya hasta cierto grado de madurez toda una serie de ciencias de las que depende la propia geología. La idea de que todas las rocas se habían precipitado desde un océano primordial o desde el fluido que formaba el caos original no era nueva; procedía ya de la Antigüedad. En la década de 1740 se enfrentó a dicha noción una segunda teoría que postulaba el origen volcánico de todas las rocas, y a partir de la de 1760 los llamados «neptunistas» combatieron a los denominados «vulcanistas» o «plutonistas». En 1775 Werner, en Alemania, se dedicó a un análisis más sistemático de la superficie de la Tierra, mucho más de lo que lo habían hecho sus predecesores, y sostuvo el origen acuoso de las rocas, la opinión más popular entonces. James Hutton, que escribió en 1788 y 1795, afirmó el origen ígneo de las rocas y desechó la idea de que la Tierra hubiera adquirido su configuración debido a una serie de grandes cataclismos. Prefirió interpretar el pasado a la luz del presente conocido y trató de explicar la configuración actual de la Tierra haciendo referencia a procesos observables aún hoy, a fuerzas que todavía estaban en plena acción y de principios que ya eran conocidos. La teoría cataclísmica se enfrentó a la doctrina del uniformitarismo, y Hutton, a pesar de que no ejerció gran influencia en su tiempo, marcó el camino para el desarrollo futuro de la geología.

Charles Bonnet (1720-1793) recurrió a sus creencias religiosas para apoyar su fe profética en el progreso del mundo y en los avances de la naturaleza. También era partidario de la idea de que las unidades de que se compone todo cuanto existe en el mundo tienen vida y que son

indestructibles y tan viejas como el propio universo, siendo cada una de ellas básicamente un «alma». Veía toda la naturaleza en una serie lineal, desde lo más simple hasta lo más complejo, en la que cada uno de los miembros no difería del anterior más que en infinitésimos, de forma que existía una continuidad ininterrumpida desde el mundo mineral hasta el vegetal que se prolongaba hasta alcanzar al reino animal y, finalmente, dar lugar al advenimiento del hombre. Bonnet estaba interesado sobre todo en las formas de transición, tales como el pez volador, el murciélago, el pólipo y las plantas sensitivas; su interés particular se cifraba en el orangután, del que decía que se le podría educar hasta convertirlo en un *valet de chambre* educado y fiel. Se inclinaba a creer que la evolución había ido más lejos en algunos planetas distintos de la Tierra, y creía que allí las piedras sentían, los perros eran capaces de intercambios intelectuales y los hombres habían alcanzado la virtud de los ángeles. Se mantenía firme no obstante en la teoría preformativa: sostenía que la primera hembra lleva ya dentro de sí el germen de todas las generaciones sucesivas, y no solo el germen, sino también la forma en miniatura de los individuos adultos. Según Bonnet, el mundo sufría periódicamente grandes catástrofes, la última de las cuales fue el diluvio universal que asociamos a Noé. Durante estas catástrofes quedaban destruidos los cuerpos de todos los seres vivos, pero los gérmenes de las generaciones futuras seguían vivos y, después del cataclismo, producían seres que estaban unos grados más arriba en la escala biológica.

La parte de la historia correspondiente al siglo XVIII llegó realmente a su culminación con dos personajes cuyos importantes escritos aparecen a principios del siglo XIX, en un momento en que París se había transformado en el centro de los estudios biológicos, Jean-Baptiste de Monet (conocido por el nombre de Lamarck) y Georges-Léopold Cuvier. Fue una fortuna que ambos viviesen «en la cuenca de París, un extenso cementerio de corales, conchas y mamíferos, y no muy lejos de otros extensos depósitos de rocas cretáceas llenas de fósiles de invertebrados». Ambos adquirieron importancia como fundadores de la paleontología invertebrada y vertebrada, respectivamente. Lamarck era un hombre de intuiciones brillantes, pero a veces sus especulaciones se adelantaban demasiado a sus hallazgos científicos, y quizá a este hecho se debiese en parte que en su tiempo casi

nadie comulgase con sus ideas. Comenzó pensando que las especies eran fijas, pero se adhirió a la idea de que «en realidad en la naturaleza tan solo existen individuos». Empezó disponiendo los grupos zoológicos en una escala vertical, pero conforme fue pasando el tiempo permitió que los peldaños de su escala se fueran extendiendo horizontalmente hasta que su sistema adoptó más bien el aspecto de un árbol genealógico. No creía en la *scala naturae* o gran cadena de la vida, sino en la existencia de interrupciones bruscas en la naturaleza; por ejemplo, una solución de continuidad entre el mundo mineral y el vegetal. No obstante, sostenía que la vida se producía por generación espontánea a partir de la materia gelatinosa o mucilaginosa y que en el proceso intervenían el calor y la electricidad. Desechó la idea de que la historia del mundo animal solamente pudiera ser explicada por una serie de cataclismos universales de dimensiones colosales que habían cambiado toda la distribución de las tierras y de los mares. Creía que la Tierra había tenido una historia más lenta y más continua, y que las especies extintas que revelaban los fósiles se habían ido transformando de una manera mucho más gradual en las que habitan el mundo actual. Poseía un sentido impresionante de la extraordinaria longitud del tiempo geológico y consideraba que la vida animal era continua —sin que se produjesen renovaciones ni extinciones totales durante los grandes cataclismos—, aunque los cambios más graduales que se producían en el mundo alteraban el medio en que vivían los seres vivos. Los cambios experimentados por este último no alteraban directamente a las especies con el paso del tiempo, sino que actuaban a través del sistema nervioso sobre toda la estructura del ser vivo, en cuyo interior había una tendencia que también intervenía en el proceso de evolución. Cuando se alteran los deseos, se alteran también los hábitos, y los órganos de los animales aumentaban o disminuían de tamaño según el grado de empleo que se hacía de ellos. Lamarck sostenía que no eran la forma o el carácter del ser vivo los que decidían los hábitos que iba a tener el ser en cuestión. Sucedía todo lo contrario: los hábitos y la forma de vida eran los que determinaban la forma de los órganos; los topos y los murciélagos habían perdido la vista porque habían vivido bajo tierra durante muchas generaciones, mientras que las aves acuáticas desarrollaban

membranas entre los dedos de sus patas porque los estiraban en el agua. Lamarck suponía que si ambos sexos adquirían nuevos caracteres, se volverían hereditarios, y creía que si a un cierto número de criaturas se les extirpaba el ojo izquierdo al nacer, bastarían pocas generaciones para dar lugar a una raza de seres humanos tuertos. Se le acusó injustamente de la teoría de que los animales podían crear nuevos órganos por sí mismos sencillamente por desear poseerlos. Aunque hablaba como si todo fuera el resultado de la acción de unas fuerzas mecánicas ciegas y creyera que hasta el alma no era sino el producto de estas, su teoría le adscribía un papel a una cierta tendencia dentro de cada individuo, que se convertía en un fluido activo que corría por los canales requeridos, como en el caso de la jirafa, que alargaba el cuello para alcanzar las ramas más altas de los árboles. A causa de su creencia en esta tendencia y en una especie de aspiración existente en los seres vivos que les hacía adquirir un grado cada vez mayor de complejidad, así como en que hasta cierto punto la propia vida tiende a aumentar las dimensiones de un cuerpo cualquiera (o de una parte del cuerpo) que la posea, algunas personas han llegado a decir que Lamarck compartía en cierto modo las nociones «vitalistas» de su época.

Su contemporáneo Cuvier causó una impresión más profunda sobre el mundo de entonces, y se ha dicho de él que fue «el primer hombre que gozó plenamente de una visión a vista de pájaro del conjunto de la vida, extendiéndose hasta la noche de los tiempos y a su alrededor, por el espacio». Sostenía que las grandes catástrofes que habían alterado la naturaleza de la superficie terrestre también habían modificado el carácter del mundo animal en diversos periodos. Este hecho le sirvió al parecer para explicar los casos de aquellos estratos geológicos que ahora aparecían a gran altitud y en posición invertida, y cuyos fósiles demostraban que se habían formado en el fondo de algún mar. Se ha sugerido que quizá estuviese indebidamente influido por el hecho de que las investigaciones geológicas francesas se efectuasen en su mayor parte en los Alpes, donde las formaciones invertidas de este tipo habían despertado un gran interés. La teoría evolucionista de Cuvier no precisaba los largos periodos de tiempo que Lamarck se había visto obligado a postular con el fin de mantener la continuidad en el prolongado curso de su evolución gradual.

Del mismo modo, tampoco estaba de acuerdo en que las especies sufrieran cambios debido al efecto normal de su morada y de su medio ambiente; a su juicio, los cambios que se producían en el reino animal eran de carácter catastrófico. En su opinión, las especies existentes en cualquier época determinada eran inmutables, y solo se producían cambios cuando quedaban destruidas a causa de algún cataclismo. Sin embargo, en cada uno de estos últimos quedaba a salvo alguna región aislada, haciendo así posible que la propia especie humana, por ejemplo, mantuviese su continuidad.

Cuvier hizo un estudio más profundo que Buffon de los fósiles que tanto abundaban en la región de París. No se contentó con estudiar por separado cada una de las partes del cuerpo, sino que analizó la manera en que se adaptaban unas a otras y demostró que los animales carnívoros debían tener el tipo apropiado de dientes, mandíbulas, garras, tubo digestivo y órganos visuales, y ser capaces de movimientos rápidos. Al estudiar tan a fondo la relación entre las diversas partes, consiguió reconstruir con un mayor grado de perfección los fósiles y los fragmentos hallados; por ejemplo, consiguió demostrar que un mamut extinto estaba relacionado más íntimamente con el elefante indio de lo que este lo estaba con el elefante africano.

Fue más lejos que Lamarck al negarse a distribuir a todos los seres vivos en una serie única ascendente o descendente y al insistir en que el mundo animal tenía que ser dividido en grupos separados, dependiendo cada uno de ellos de un proyecto original distinto de los demás. Aquella idea tan fundamental, que ya encontramos esbozada en la obra de Bonnet, implicaba la existencia de más de un proceso de evolución, pero también de líneas paralelas de desarrollo entre los distintos grupos. Este nuevo concepto constituía una señal de que no era posible trazar líneas de comparación directa entre seres muy desarrollados y especializados que podían haberse alejado mucho el uno del otro a consecuencia de dos procesos evolutivos distintos dentro de grupos diferentes. El nuevo sistema le permitió también a Cuvier mejorar notablemente los sistemas de clasificación. Era un paso adelante necesario para establecer una teoría práctica de la herencia.

Se ha señalado que por aquellas fechas ya habían sido descubiertos todos los ingredientes de la teoría de Charles Darwin, salvo la idea de la

lucha por la existencia. Los escritos de Malthus y las obras de economía de la Revolución industrial habrían de suministrar muy pronto lo que se precisaba en este sentido, y el desarrollo de los estudios geológicos —la obra de Lyell, por ejemplo— prepararon a la mente humana para *El origen de las especies*, publicado en 1859.

ÍNDICE ONOMÁSTICO

NOTAS DEL TRADUCTOR

[1] Especulación a gran escala, iniciada en 1710, cuyo fin era el monopolio de la explotación de las islas del Pacífico. Al ser descubierto el fraude en 1720 por el ministro Walpole, la compañía se hundió, ocasionando la ruina de millares de accionistas.

[2] Alusión a la novela de Aldous Huxley *Un mundo feliz*.

Un viaje a la Revolución científica, uno de los momentos más fascinantes de la historia de nuestra cultura.

No hay nada más radical que un clásico.

clásicos radicales

Herbert Butterfield

Los orígenes de la ciencia moderna

Los orígenes de la ciencia moderna es el maravilloso relato de cóm



o las grandes ideas científicas penetraron en el seno de la sociedad hasta transformar radicalmente el pensamiento occidental. La Revolución científica supuso un cambio de paradigma al romper con el mundo antiguo y medieval no solo en lo referente a la ciencia sino también en el resto de disciplinas. Este libro, esencial para entender la irrupción de la ciencia en el mapa mental de la humanidad, nos recuerda que la idea del método científico, hoy tan asentada, fue una lección difícil de aprender.

----

radical: *adj.* Perteneciente o relativo a la raíz.

Clásicos Radicales nace con la misión de recuperar algunos de los libros más emblemáticos del sello que en su día formularon una idea nueva u ofrecieron una mirada original y pertinente sobre las grandes cuestiones universales. Ausentes de las librerías durante demasiado tiempo pero recordados y buscados por los lectores más despiertos, estos textos esenciales de disciplinas como la filosofía, la ética, la historia, la sociología, la economía, la antropología, la psicología y la política mantienen su plena vigencia y vuelven hoy con fuerza para iluminar nuestro presente.

SOBRE EL AUTOR

Herbert Butterfield (Oxenhope, 1900 - Sawston, 1979) fue historiador y filósofo de la historia británico. Director de Peterhouse —el *college* más antiguo de los que conforman la Universidad de Cambridge— y *regius professor* de Historia Moderna, sus ámbitos de investigación incluyeron la historiografía, la historia de la ciencia, la historia del siglo XVIII, la historia constitucional, el cristianismo y la historia y la teoría política internacionales.

Título original: *The Origins of Modern Science. 1300-1800*

Travessera de Gràcia, 47-49. 08021 Barcelona

ISBN ebook: 978-84-306-2298-6
Diseño de cubierta: Penguin Random House Grupo Editorial / Nora Grosse
Conversión ebook: MT Color & Diseño, S.L.
www.mtcolor.es

www.megustaleer.com



ÍNDICE